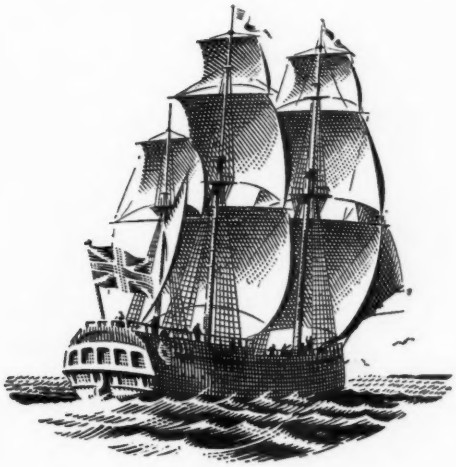
ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain



VOLUME XV · 1956

LISTE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS

ANDRADE, E. N. DA C.: La collection de portraits de la *Royal Society*. 128.
ARTICLES DE TÊTE
Benjamin Franklin. 3.
Jusqu'où peut aller la vulgarisation scientifique? 59.
L'amateurisme en science. 115.
L'organisation dans la recherche scientifique. 175.

BAWN, C. E. H.: De nouvelles variétés de macromolécules. 137.
BULLARD, Sir Edward.: Edmond Halley (1656–1742). 189.

COSSLETT, V. E.: Le domaine d'application du microscope électronique. 153.

DODD, C.: La chambre à bulles. 206.

ESSEN, L.: La vitesse de la lumière. 87.

FORD, E. B.: Etude de l'évolution organique par l'observation et l'expérimentation. 149.

GARLICK, G. F. J.: Quelques aspects de la luminescence. 144.

HARLEY, J. L.: Les mycorhizes des arbres de forêt. 43.
HARRIS, T. M.: La cuticule des plantes fossiles. 210.

HUXLEY, H. E.: La contraction musculaire. 177.

JAMES, A. T.: Le chromatogramme à gaz et liquide. 73.
JOHNSON, A. W. et TODD, Sir Alexander.: La vitamine B_{12}. 29.

KEYNES, R. D.: La production d'électricité par les poissons. 215.

LANDÉ, A.: Mécanique quantique et sens commun. 61.

MASSEY, H. S. W.: Mésons, hypérons et antiprotons. 117.

POWELL, H. M.: Propos sur l'activité optique. 20.
PRINGLE, J. W. S.: Le chant des insectes. 68.

ROBINSON, Sir Robert: Les Perkin, chimistes organiciens. 92.
ROGERS, E. W. E.: Ondes de choc dans l'air. 34.
ROTHSCHILD, Lord: Les spermatozoïdes d'oursin. 79.

TEMPLE, G.: Aspects dynamiques du pneu. 200.
TODD, Sir Alexander: *Voir* JOHNSON, A. W. et TODD, Sir Alexander.

WINTER, H. J. J.: La mécanique et les mécanismes en Islam médiéval. 25.

YOUNG, J. Z.: L'organisation interne des cellules nerveuses. 5.

REVUE DES LIVRES

BALDWIN, E. et BELL, D. J. (revu par): Cole's Practical Physiological Chemistry (10e édition). 222.
BARTLETT, M. S.: An Introduction to Stochastic Processes. 52.
BECKERLEY, J. G. (publié par): Annual Review of Nuclear Science, Vols. III–IV. 107.
Biochemistry of Nitrogen. 104.
Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, Vol. I. 223.
BLÜH, Otto et Elder, Joseph D.: Principles and Applications of Physics. 169.
BORNEMISZA, S. T.: The Unified System Concept of Nature. 108.
BRACKEN, A.: The Chemistry of Micro-organisms. 103.
British Pharmacopoeia 1953: Addendum. 1955. 225.
BRODA, Engelbert: Ludwig Boltzmann. 223.
BROOKS, B. T., BOORD, C. E., KURTZ, S. S. et SCHMERLING, L. (publié par): The Chemistry of Petroleum Hydrocarbons, Vols. I, II, III. 166.
BROWN, Roland Wilbur: Composition of Scientific Words. 108.
BUXTON, P. A.: The Natural History of Tsetse Flies. 109.

CAMPBELL, N. (revu et publié par): Schmidt's Organic Chemistry (7e édition). 167.
CATTELL, J. (publié par): American Men of Science (9e édition), Vol. II (The Biological Sciences). 223.
COLE, W. H. (publié par): Some Physiological Aspects and Consequences of Parasitism. 49.
COLERUS, E.: From Simple Numbers to the Calculus. 52.
COULSON, C. A.: Science and Religion: A Changing Relationship. 52.

DANIELS, Farrington et ALBERTY, Robert A.: Physical Chemistry. 167.
DAUMAS, M.: Lavoisier, théoricien et expérimentateur. 50.
DE BROGLIE, Louis: Physics and Microphysics. (Traduit par DAVIDSON, M.). 106.
DE CALLATAŸ, Vincent. Atlas du Ciel. 222.
DE VAUCOULEURS, Gérard: Physics of the Planet Mars. 103.
DENBIGH, K. G.: The Principles of Chemical Equilibrium. 224.
DHARMAKUMARSINHJI, R. S.: Birds of Saurashtra—India. 109.

EMMETT, Paul H. (publié par): Catalysis, Vol. II: Fundamental Principles (Part 2). 105.

Fifth Symposium (International) on Combustion. 226.
FINNEY, D. J.: Experimental Design and its Statistical Basis. 168.
FRIEDLANDER, G. et KENNEDY, W.: Nuclear and Radiochemistry. 169.

GAEDE, Hannah: Wolfgang Gaede. 104.
GARRATT, D. C.: The Quantitative Analysis of Drugs (2e édition). 167.
GIGNOUX, M.: Stratigraphic Geology (4e edition). (Traduction anglaise de WOODFORD, G. G.). 225.
GRIVET, P., BERNARD, M. Y. et SEPTIER, A.: Optique électronique, Vol. I: Lentilles électroniques. 170.
GUGGENHEIM, E. A.: Boltzmann's Distribution Law. 106.
GUILLAUMIN, A., MOREAU, F. et C.: La vie des plantes. 50.

HADORN, E.: Letalfaktoren. 49.
HALLIDAY, David: Introductory Nuclear Physics (2e édition). 226.
HILL, R. et WHITTINGHAM, C. P.: Photosynthesis. 50.
HORNING, E. C. (publié par): Organic Syntheses, Collective Volume III. 105.
HOYLE, Fred: Frontiers of Astronomy. 103.
HUNTER, Donald: The Diseases of Occupations. 168.

KING, H. C.: The History of the Telescope. 166.
KOPAL, Z.: Numerical Analysis. 168.

LAIDLER, K. J.: The Chemical Kinetics of Excited States. 51.
LEES, A. D.: The Physiology of Diapause in Arthropods. 53.
LEES, H.: Biochemistry of Autotrophic Bacteria. 103.
LHOSTE, J.: Les rongeurs domestiques nuisibles. 54.
LUBS, H. A. (publié par): The Chemistry of Synthetic Dyes and Pigments. 51.

MCDONALD, H. J.: Ionography. 107.
MARSHALL, S. M. et ORR, A. P.: The Biology of a Marine Copepod. 110.
MARVEL, C. S.: The Roger Adams Symposium. 224.
MATTHEWS, G. V. T.: Bird Navigation. 54.
MAYER, M. G. et JENSEN, J. H. D.: Elementary Theory of Nuclear Shell Structure. 107.
MERRILL, E. D.: The Botany of Cook's Voyages, Vol. XIV, Nos. 5–6. 50.
MICHAELIS, Anthony R.: Research Films in Biology, Anthropology, Psychology and Medicine. 166.

NEAVERSON, E.: Stratigraphical Palaeontology (2e édition). 166.
NEILANDS, J. B. et STUMPF, Paul K.: Outlines of Enzyme Chemistry. 104.

OSMAN HILL, W. C.: Primates. Part 1—Strepsirhini. Part 2—Haplorhini. 110.

PARKES, A. S. (publié par): British Medical Bulletin, Vol. XI, No. 2 (Hormones in Reproduction.) 168.
PAULI, W. (publié par): Niels Bohr, and the Development of Physics. 226.
PAULING, Linus: College Chemistry (2e édition). 51.
PAWSEY, J. W. et BRACEWELL, R. N.: Radio Astronomy. 49.
PEIERLS, R. E.: The Laws of Nature. 170.
PEIERLS, R. E.: Quantum Theory of Solids. 170.
PERUSSIA, A.: Medicina Nucleare. 168.

REINIG, W. F. (publié par): Kosmos Lexikon der Naturwissenschaften, Vol. II, L—Z. 109.
RHOADS, C. P. (publié par): Antimetabolites and Cancer. 225.
ROLLER, D. et ROLLER, D. H. D.: The Development of the Concept of Electric Charge. 53.

SARTON, George: The Appreciation of Ancient and Medieval Science during the Renaissance (1450–1600). 108.
SEEL, F.: Grundlagen der analytischen Chemie und der Chemie in wässrigen Systemen. 51.
SHARPE, J.: Nuclear Radiation Detectors. 107.
SIDGWICK, J. B.: Amateur Astronomer's Handbook. 49.
SIDGWICK, J. B.: Observational Astronomy for Amateurs. 49.
SPEAKMAN, J. C.: An Introduction to the Electronic Theory of Valency (3e édition). 52.
STARCK, D.: Embryologie. 54.
STÖRMER, Carl: The Polar Aurora. 106.
STROUTS, C. R. N., GILFILLAN, J. H. et WILSON, H. N. (publié par): Analytical Chemistry—The Working Tools, Vols. I, II. 105.

TAYLOR, F. Sherwood: An Illustrated History of Science. 109.
TERMIER, H. et TERMIER, G.: L'évolution de la lithosphère. I. Pétrogenèse. 225.
THIRRING, W.: Einführung in die Quantenelektrodynamik. 53.
THOMSON, Sir George: The Foreseeable Future. 169.
TOLANSKY, S.: Microstructures of Diamond Surfaces. 167.

WADDINGTON, C. H.: Principles of Embryology. 224.
WAGNER, R. P. et MITCHELL, H. K.: Genetics and Metabolism. 222.
WELLER, Carl V.: Causal Factors in Cancer of the Lung. 226.
WESTERFIELD, W. W. (publié par): Biochemical Preparations, Vol. IV. 223.
WHELAND, G. W.: Resonance in Organic Chemistry. 224.
WIENER, N.: The Human Use of Human Beings (édition revue). 53.
WOLSTENHOLME, G. E. W. et CAMERON, Margaret P. (publié par): Experimental Tuberculosis (avec un supplément sur la lèpre). 169.

TABLE DES MATIÈRES

Les articles sont ici disposés par ordre numérique de sujets, d'après le système de Classification Décimale Universelle (British Standard 1000). Voir à la page IV le répertoire alphabétique.

06 INSTITUTS. SOCIÉTÉS. MUSÉES

061.22:757 La collection de portraits de la *Royal Society*. ANDRADE, E. N. DA C. 128.

07 ARTICLES DE TÊTE

070.432:5 Jusqu'où peut aller la vulgarisation scientifique? 59.
070.432:5 L'amateurisme en science. 115.
070.432:5.001.6 L'organisation dans la recherche scientifique. 175.
070.432:92:53 Benjamin Franklin. 3.

5 SCIENCES NATURELLES

5:070.432 Jusqu'où peut aller la vulgarisation scientifique? (Article de tête). 59.
5:070.432 L'amateurisme en science (Article de tête). 115.
5.001.6:070.432 L'organisation dans la recherche scientifique (Article de tête). 175.
51/53:550.38:92 Edmond Halley (1656–1742). BULLARD, Sir Edward. 189.

53 PHYSIQUE

53:92:070.432 Benjamin Franklin (Article de tête). 3.
530.145 Mécanique quantique et sens commun. LANDÉ, A. 61.
531=927(091) La mécanique et les mécanismes en Islam médiéval. WINTER, H. J. J. 25.
531.391:629.1.012 Aspects dynamiques du pneu. TEMPLE, G. 200.
533.6.011.5:534.2–8 Ondes de choc dans l'air. ROGERS, E. W. E. 34.
534.2–8:533.6.011.5 *Idem.*
535.22.08 La vitesse de la lumière. ESSEN, L. 87.
535.37:591.148 Quelques aspects de la luminescence. GARLICK, G. F. J. 144.
535.566:541.653 Propos sur l'activité optique. POWELL, H. M. 20.
537.12/.13:539.185 Mésons, hypérons et antiprotons. MASSEY, H. S. W. 117.
537.52:597.3/.5:591.175.1 La production d'électricité par les poissons. KEYNES, R. D. 215.
539.16.08 La chambre à bulles. DODD, C. 206.
539.185:537.12/.13 Mésons, hypérons et antiprotons. MASSEY, H. S. W. 117.
539.2:548:621.385.833:57/59 Le domaine d'application du microscope électronique. COSSLETT, V. E. 153.

54 CHIMIE

54:92 Les Perkin, chimistes organiciens. ROBINSON, Sir Robert. 92.
541.64 De nouvelles variétés de macromolécules. BAWN, C. E. H. 137.
541.653:535.566 Propos sur l'activité optique. POWELL, H. M. 20.
542.48:545.844 Le chromatogramme à gaz et liquide. JAMES, A. T. 73.
545.844:542.48 *Idem.*
547.962.4:591.175:577.12 La contraction musculaire. HUXLEY, H. E. 177.
548:621.385.833:57/59:539.2 Le domaine d'application du microscope électronique. COSSLETT, V. E. 153.

55 GÉOLOGIE. GÉOPHYSIQUE

550.38:92:51/53 Edmond Halley (1656–1742). BULLARD, Sir Edward. 189.

56 PALÉONTOLOGIE

561:581.821.1 La cuticule des plantes fossiles. HARRIS, T. M. 210.

57 BIOLOGIE

57/59:539.2:548:621.385.833 Le domaine d'application du microscope électronique. COSSLETT, V. E. 153.
575.1:578.084 Etude de l'évolution organique par l'observation et l'expérimentation. FORD, E. B. 149.
576.31:591.88 L'organisation interne des cellules nerveuses. YOUNG, J. Z. 5.
577.12:547.962.4:591.175 La contraction musculaire. HUXLEY, H. E. 177.
577.164.16 La vitamine B_{12}. JOHNSON, A. W. et TODD, Sir Alexander. 29.
578.084:575.1 Etude de l'évolution organique par l'observation et l'expérimentation. FORD, E. B. 149.

58 BOTANIQUE

581.557.24 :634.9 — Les mycorhizes des arbres de forêt. HARLEY, J. L. 43.

581.821.1:561 — La cuticule des plantes fossiles. HARRIS, T. M. 210.

59 ZOOLOGIE

591.148:535.37 — Quelques aspects de la luminescence. GARLICK, G. F. J. 144.

591.175:577.12 :547.962.4 — La contraction musculaire. HUXLEY, H. E. 177.

591.175.1 :537.52 :597.3/.5 — La production d'électricité par les poissons. KEYNES, R. D. 215.

591.313:593.95 — Les spermatozoïdes d'oursin. ROTHSCHILD, Lord. 79.

591.58:595.7 — Le chant des insectes. PRINGLE, J. W. S. 68.

591.88:576.31 — L'organisation interne des cellules nerveuses. YOUNG, J. Z. 5.

593.95:591.313 — Les spermatozoïdes d'oursin. ROTHSCHILD, Lord. 79.

595.7:591.58 — Le chant des insectes. PRINGLE, J. W. S. 68.

597.3/.5 :591.175.1 :537.52 — La production d'électricité par les poissons. KEYNES, R. D. 215.

62 ART DE L'INGÉNIEUR

621.385.833 :57/59 :539.2:548 — Le domaine d'application du microscope électronique. COSSLETT, V. E. 153.

629.1.012 :531.391 — Aspects dynamiques du pneu. TEMPLE, G. 200.

63 AGRICULTURE

634.9 :581.557.24 — Les mycorhizes des arbres de forêt. HARLEY, J. L. 43.

75 BEAUX ARTS

757:061.22 — La collection de portraits de la *Royal Society*. ANDRADE, E. N. DA C. 128.

92 BIOGRAPHIE

92:51/53 :550.38 — Edmond Halley (1656–1742). BULLARD, Sir Edward. 189.

92:53:070.432 — Benjamin Franklin (Article de tête). 3.

92:54 — Les Perkin, chimistes organiciens. ROBINSON, Sir Robert. 92.

RÉPERTOIRE ALPHABÉTIQUE

Actine 547.962.4
Activité optique 541.65
Adaptation évolutive 575.3/.6
Aérodynamique 533.6
Agriculture 63
Antiprotons 537.12
Arbres de forêt 634.9
Art de l'ingénieur 62
Astronomie 52
Avions 629.1

Biochimie 577
Biographie 92
Biologie 57
Bioluminescence 591.148
Bosons 537.12/.13
Botanique 58

Cellules nerveuses
  Organisation 591.88
Chambres à bulles 539.16.08
Chant des insectes 595.7:591.58
Chimie 54
Chromatogramme
  Gaz-liquide 545.844
Comètes 52
Communications
  Cellules nerveuses 576.31
Contraction musculaire 591.175
Courants supersoniques 533.6.011.5
Cuticule
  Plantes fossiles 581.121.1
Cyanocobalamine 577.164.16
Cytologie 576.3

Décharge électrique 537.52
Détecteurs de particules 539.16.08
Distillation 542.48
Dynamique 531.3

Electronique 621.38
Electrons 537.12
Embryologie 591.3
Entomologie 595.7
Etat solide
  Physique 539.2
Evolution 575.1/.6

Fécondation 591.313
Fermions 537.12/.13
Fluorescence 535.37
Fractionnement 542.48
Franklin, Benjamin 92:53
Freinage
  Pneus 531.3

Génétique 575.1
Granules synaptiques 576.31

Halley, Edmond 92
Histologie végétale 581.82
Hypérons 537.12/.13

Insectes 595.7
Islam
  Mécanique 531=927(091)

Lipochondries 576.31
Lumière
  Vitesse 535.22.08
Luminescence 535.37

Macromolécules 541.64
Magnétisme terrestre 550.38
Matrices
  Mécanique quantique 530.145
Mécanique 531
Mécanique quantique 530.145
Mésons 537.12/.13
Microscopes électroniques 621.385.833
Mitochondries 576.31
Muscles 591.175
Mutations 575.24
Mycorhizes 581.557.24
Myosine 547.962.4

Neurones 591.88
Nombre de Mach 534.2–8
Neutrons 539.185

Observation
  Biologie 578.084
Ondes de choc 534.2–8
Optique 535
Organes électriques
  Poissons 591.175.1
Oscillations mécaniques 531.3
Oursins 593.95

Paléobotanique 561
Peinture 75
Perkin
  Chimistes organiciens 54:92
Phosphorescence 535.37
Photons 539.18
Physiologie
  Muscle 591.175
Physique 53
Physique nucléaire 539.1
Plantes fossiles 561
Pneus 629.1.012
Poissons 597
Polarisation 535.56
Polymérisation 541.64
Portraits
  Royal Society 757
Positrons 537.132
Pouvoir rotatoire
  Polarisation 535.56
Protéines
  Muscle 547.962

Royal Society 061.22

Souffleries 533.6
Spermatozoïdes
  Oursins 591.313:593.95
Stéréochimie 541.6
Stridulation
  Insectes 591.58:595.7
Structure cellulaire
  Microscopie électronique 57/59
Structure chimique
  Propriétés optiques 541.65
Structure cristalline
  Microscopie électronique 548
Sylviculture 634.9
Symbiose 581.557
Systèmes moléculaires
  Microscopie électronique 539.2

Ultramicroscopie 539.2

Virus
  Microscopie électronique 57
Vitamines 577.168
Vitesse de la lumière
  Mesure 535.22.08
Vulgarisation scientifique 5

Zoologie 59

Imprimé en Grande-Bretagne par THE KYNOCH PRESS, *Witton, Birmingham, 6, pour les éditeurs,*
IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED, *Londres, S.W.1*

ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XV Janvier 1956 NUMÉRO 57

SOMMAIRE

53:92
Article de Tête: Benjamin Franklin 3

591.88:576.31
L'organisation interne des cellules nerveuses J. Z. YOUNG 5

535.566:541.653
Propos sur l'activité optique H. M. POWELL 20

531 = 927(091)
La mécanique et les mécanismes en Islam médiéval H. J. J. WINTER 25

577.16B12
La vitamine B_{12} A. W. JOHNSON et SIR ALEXANDER TODD 29

534.2–8:533.6.011.5
Ondes de choc dans l'air E. W. E. ROGERS 34

581.557.24:634.9
Les mycorhizes des arbres de forêt J. L. HARLEY 43

049.3
Revue des livres 48

Livres reçus 55

Notes biographiques sur les collaborateurs 56

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Benjamin Franklin

Au mois de janvier 1956 sera célébré le 250e anniversaire de la naissance de Benjamin Franklin, l'homme qui a étudié avec autant d'aisance que de succès les harmonies des choses inanimées et les discordances de la nature humaine. Dans toutes ses entreprises il a su distinguer d'un coup d'œil infaillible l'essentiel de l'accessoire, l'important du spécieux. Avec cela il possédait cette lucidité d'esprit qui permet de déceler tout d'abord ce qu'il convient de faire, puis les moyens d'y parvenir. Dans les affaires sa qualité maîtresse est la clairvoyance, laquelle est également un facteur de ses succès littéraires; et il va sans dire que ces dons s'accompagnent de maintes autres qualités et de certains autres traits humains.

La renommée de Franklin vient de ce qu'il confirma l'origine électrique de la foudre et conçut le premier paratonnerre efficace. C'est là un grand service rendu à la science, mais ce n'est certainement pas le seul. On avait auparavant fait un rapprochement entre la foudre et l'étincelle produite par une génératrice à frottement, mais sans y apporter une attention spéciale; c'est Franklin qui le premier, après une étude systématique de la question, indiqua douze points de ressemblance entre le fluide électrique et la foudre. Il effectua de plus une série d'expériences sur le pouvoir qu'ont les pointes aiguës, mises à la terre, de décharger les corps électrisés qui se trouvent dans leur voisinage, et fut ainsi amené à concevoir le modèle de paratonnerre qui a fait sa réputation. Il s'était demandé si les baguettes pointues ne pouvaient provoquer l'écoulement lent de l'électricité d'un nuage, et en prévenir par ce moyen la brutale décharge ainsi que les effets dévastateurs de la foudre. Il suggéra alors l'expérience au cours de laquelle un homme se tenant debout sur un support isolant, dans une guérite érigée au sommet d'un édifice élevé, provoquerait des décharges entre la pointe d'une baguette et un nuage orageux. L'expérience fut par la suite tentée en France avec succès.

L'expérience avec le cerf-volant, qui frappa l'imagination populaire au point de rester indissolublement liée au nom de Franklin, eut lieu plus tard à Philadelphie. Un ruban de soie servait d'isolant entre la corde du cerf-volant et la main qui la tenait. Cette corde, mouillée par la pluie, devint un conducteur — médiocre, fort heureusement — et des étincelles jaillirent entre les doigts de Franklin et une clef suspendue à la corde. Cette expérience, dont certaines descriptions sont d'ailleurs inexactes, n'était en somme que la confirmation de ce qui avait déjà été constaté conformément aux déductions et aux conseils de Franklin.

Il n'est guère facile en électricité statique, d'obtenir des résultats décisifs, à cause du comportement souvent capricieux des corps frottés. Les expériences soigneuses de Franklin lui permirent néanmoins d'arriver à la conclusion que l'effet du frottement est de séparer deux sortes de charge qui se neutralisent en contact. C'est pour expliquer cet effet qu'il imagina sa théorie du fluide unique, selon laquelle un des corps électrisés possède un excédent de fluide égal à ce qui manque à l'autre. Il inaugura en conséquence l'emploi actuel des termes «positif» et «négatif».

On oublie parfois ses travaux sur les condensateurs. Franklin avait 40 ans environ à l'époque de la découverte de la bouteille de Leyde, qui fit sensation surtout à cause des rudes chocs qu'elle donnait. Franklin démontra que les deux revêtements avaient des charges égales mais de nature opposée: «La bouteille de Leyde, dit-il, ne contient pas plus de feu électrique avant qu'après l'électrisation», et il prouva que l'énergie de la bouteille se trouvait dans le verre. Au cours de ses études il réalisa le condensateur plat, plus commode, se composant d'une lame de verre entre de minces plaques de plomb et souvent appelé «le carreau de Franklin». En réunissant des condensateurs plats, il constitua ce qu'il appela une batterie électrique, et qu'on désigne parfois sous le nom de «cascade».

Rappelons brièvement les travaux de Franklin sur la chaleur. Il était avant tout un homme pratique et, comme son compatriote Rumford, il s'attacha à améliorer le poêle domestique. Il écrit au sujet des poêles primitifs: «En somme la plupart des maladies occasionnées par des refroidissements ont pour cause première les cheminées qui tirent trop, avec le résultat que, par les froids rigoureux, on est rôti par devant et gelé par derrière.» Parmi les autres travaux on peut citer l'invention des verres bifocaux, d'un modèle perfectionné d'harmonica et de divers modèles d'appareils ménagers. Nous constatons d'autre part que la recherche en science pure lui plaisait, témoin son étude fondamentale du comportement des charges électriques.

Les travaux scientifiques tiennent peu de place dans la carrière de Franklin, bien qu'il se soit proposé avec joie d'y consacrer la plupart de son temps, au moment où il vendit son imprimerie en 1748 pour une somme rondelette. En raison de sa popularité, son jugement et son énergie, alliés à un bon sens sortant de l'ordinaire, il était tout désigné pour jouer un rôle prépondérant dans les affaires publiques des colonies d'Amérique. Aussi, quand il fallut, en 1757, déléguer quelqu'un à Londres pour exposer les griefs des colons, c'est Franklin qui fut choisi. Il passa cinq ans en Angleterre, puis en 1764 il y retourna chargé d'une autre mission du même genre. Celle-ci ne prit fin qu'en 1775, quand il ne resta plus d'espoir d'une entente à l'amiable. Il n'y a évidemment pas lieu ici de faire le bilan, même très succinct, de ses activités politiques, mais il est généralement reconnu qu'il fut un négociateur avisé et un conseiller loyal et prudent, d'une fermeté courtoise. Il s'efforça, avec sincérité et intelligence, de conserver entre l'Angleterre et les colonies d'Amérique une association fondée sur le respect mutuel des droits et des intérêts et si ses efforts sont restés vains, ce n'est pas de sa faute. Il est permis de douter que d'autres eussent réussi là où Chatham et Franklin ont échoué. Pendant le séjour qu'il fit en France par la suite, le savant et l'homme du monde fut accueilli à bras ouverts dans tous les salons.

Il est agréable de constater que Franklin ne cessa jamais d'entretenir les relations les plus cordiales avec les meilleurs éléments de la société britannique. Jeune homme parfaitement inconnu lors de sa première visite à Londres, il se prit d'une vive admiration pour les coutumes anglaises. C'est par l'entremise d'un ami anglais que ses travaux sur l'électricité paraissent pour la première fois en Angleterre; ils lui valent, avant même sa deuxième visite, la médaille Copley de la *Royal Society*. Quand plus tard, devenu un savant de réputation mondiale, il revient en qualité de délégué officiel des colonies, il entre de plainpied dans l'amitié des représentants les plus éminents des sciences, de la politique et de la société anglaises. Il est élu membre de la *Royal Society* en 1756 et il est souvent appelé à siéger au Conseil de cette compagnie. Il est aussi un familier de la jeune *Royal Society of Arts*. Son modèle de paratonnerre est adopté pour la plupart des bâtiments publics et, alors que la guerre de l'Indépendance battait son plein, les hommes de science britanniques les plus en vue le défendirent contre les attaques d'un concurrent. Il va sans dire que Franklin est un des signataires de la Déclaration de l'Indépendance, mais pendant toute la guerre son attitude envers l'Angleterre demeure bienveillante. C'est par exemple grâce à son intervention que les croiseurs américains s'abstiennent de tout acte hostile envers le capitaine Cook, alors en voyage d'exploration. Dès que la guerre eut pris fin, à son grand soulagement, Franklin reçut, avec l'approbation du roi George III, un exemplaire des «Voyages» de Cook et une médaille d'or frappée en honneur de celui-ci, accompagnée d'une lettre amicale du Président de la *Royal Society*, Sir Joseph Banks.

L'intelligence vaste et lucide de Franklin lui permit d'accomplir des réalisations remarquables en science pure et appliquée, et d'autre part, dans les affaires, tant privées que publiques, il se distingua par sa sagesse, sa droiture, son courage et ses qualités de chef. Ses écrits sont des modèles de leur genre, et enfin, il mit tout son cœur et son esprit à encourager la coopération et la confiance universelles.

L'organisation interne des cellules nerveuses

par J. Z. YOUNG

Le cytoplasme de toutes les cellules renferme plusieurs types de particules qui sont des agrégats complexes de molécules, entourés de membranes et dont les fonctions sont encore mal connues. L'auteur pense que ces particules pourraient servir de signaux permettant au noyau de diriger les opérations cellulaires. Cette hypothèse est étayée par une étude particulière de la cellule nerveuse, qui, étant très grande, convient parfaitement à l'étude de ce système de communications intracellulaires.

L'organisation supramoléculaire interne des cellules est encore peu connue, bien que les biochimistes depuis Gowland Hopkins aient compris la nécessité d'une telle étude [29]. On ne sait pas encore très bien quels sont les buts à atteindre, ni les méthodes à employer, ni les unités à considérer dans la recherche de l'organisation cellulaire. On a souvent suggéré que l'organisation pouvait dépendre d'un cytosquelette, probablement protidique, mais si les choses se passent ainsi pour certaines cellules, il est préférable de considérer l'hypothèse que l'organisation n'est pas statique et qu'il se produit des échanges constants entre les différentes parties de la cellule. L'hypothèse suggérée ici sur l'organisation cellulaire tient compte de trois considérations: 1°) le métabolisme cellulaire maintient un état constant, malgré les changements externes; 2°) ce fait implique une communication à double sens entre la surface cellulaire et un système central quelconque, probablement le noyau; 3°) la plus grande partie du matériel cellulaire est formée de particules. Les propriétés caractéristiques des organismes sont le résultat du fait qu'ils contiennent certains groupements particuliers de molécules, acquis au cours de leur histoire passée. Nous ne possédons pas encore de méthodes convenables pour montrer les relations entre les nombreux éléments cellulaires, si rapidement variables, dont les propriétés dépendent d'une longue suite d'événements passés. Néanmoins il n'est pas trop tôt de penser à ce problème.

Des substances pénètrent dans la cellule ou en sortent sans cesse, et en tentant d'élucider le cours probable du métabolisme de chaque type de molécule qui entre, on peut espérer découvrir la nature du système tout entier. La vie se maintient parce que certains groupes de substances ont été sélectionnés et réunis au cours de l'histoire passée du système. Ces groupements chimiques ont provoqué des réactions assurant la constance du milieu dans toutes conditions précédemment subies. Ils résultent de tâtonnements successifs parmi un grand nombre de combinaisons possibles, les combinaisons instables étant rejetées. Ce procédé fournit des systèmes stables dans des conditions variées et variables, car le carbone peut donner une infinité de composés qui varient légèrement entre eux et parmi lesquels se trouvent les combinaisons convenables.

LA CELLULE, SYSTÈME DE COMMUNICATIONS

On peut comparer une cellule ou un organisme et son milieu avec une chaîne de communication. Cette comparaison tire sa valeur du fait que dans les deux ensembles il y a des limites au comportement futur, imposées par les groupes de combinaisons sélectionnées auparavant. La théorie de la communication se préoccupe du mode d'influence de «l'information» sur les «décisions». L'information est transmise par le choix dans un code convenu de la combinaison de symboles appropriée à une situation et un milieu donnés. Après une transmission convenable, cette information dirige le comportement du récepteur de telle sorte que celui-ci fait un ajustement correct à la situation. Si l'information part d'une source périphérique vers quelque centre de contrôle, la réponse de ce dernier peut consister dans la transmission, vers la périphérie, d'instructions en accord avec les opérations réalisées dans le centre de contrôle.

La conception de «récepteurs» à la surface cellulaire est déjà tout à fait familière aux biochimistes et aux pharmacologistes. Les événements se produisant dans le voisinage immédiat d'un organisme ou d'une cellule agiraient comme des

sélecteurs dans le groupe limité d'opérations chimiques possibles près de la surface, de même que pour former un message on doit choisir certains mots dans toute une langue. Les réactions cellulaires possibles sont sélectionnées à l'avance, comme les mots, en vue de convenir à certains événements extérieurs probables. Les modifications près de la surface cellulaire influencent les réactions loin à l'intérieur; celles-ci suivent des règles que nous ignorons presque totalement, mais qui dépendent probablement aussi d'arrangements préalablement choisis. Nous pouvons ainsi considérer que «l'information» est transmise à l'intérieur et atteint finalement le noyau, qui contient le dernier poste de commande et représente le constituant le plus constant de la cellule.

La quantité moyenne d'acide désoxyribonucléique (ADN) dans les noyaux de tous les tissus somatiques d'une même espèce est la même (tableau 1). La quantité dans les noyaux des spermatozoïdes est moitié de celle des noyaux somatiques. Dans un tissu tel que le foie de rat, où la moyenne est plus forte, certaines cellules contiennent plus d'un stock chromosomique [13].

TABLEAU I

Quantité moyenne de ADN par cellule ($10^{-12}g$)

	Rat	*Poule*	*Bœuf*	*Grenouille*	*Crapaud*	*Carpe*
Foie	9,4	2,6	6,4	15,7	—	3,3
Rein	6,7	2,3	—	—	—	—
Rate	6,5	2,6	—	—	—	—
Poumon ..	6,7	—	—	—	—	—
Leucocytes ..	6,6	—	—	—	—	—
Erythrocytes ..	—	2,6	—	15,0	7,3	3,5
Cœur	6,5	2,5	—	—	—	—
Pancréas ..	7,3	2,7	—	—	—	—
Cerveau ..	—	2,3	—	—	—	—
Muscle.. ..	—	2,5	—	—	—	—
Sperme ..	—	1,3	2,8	—	3,7	1,6

La constance relative de ce constituant cellulaire est du plus grand intérêt, puisque nous savons que le noyau constitue le système de contrôle central qui assure la constance de chaque type d'organisme vivant. Le comportement nucléaire au cours de la division cellulaire met en œuvre des mécanismes minutieux qui assurent la constance dans la copie, le matériel étant disposé en unités distinctes, les gènes, régulièrement alignés sur les chromosomes. Au cours de la formation des cellules germinales se produit un phénomène qui réduit de moitié ce matériel et assure pour la génération suivante un départ avec la quantité standard de matériel nucléaire dont un exemplaire de chaque partie est fourni par chacun des parents. Le mâle n'apporte guère autre chose que les nucléoprotéines sus-mentionnées. Ainsi le noyau fournit les instructions qui, en dernière analyse, régissent le métabolisme de chaque cellule.

Le jeu du système de commande doit consister essentiellement à envoyer vers l'extérieur dans la cellule des communications qui constituent les instructions. Suivant ces instructions, des «décisions» interviennent entre une chaîne de métabolisme et une autre. Cependant, le milieu extérieur transmet continuellement des informations vers l'intérieur à travers le cytoplasme, influençant probablement en fin de compte les instructions qui sont envoyés par le système de commande du noyau. Sauf en des cas exceptionnels (mutations), ces informations n'altèrent pas les propriétés de base du système de commande lui-même, qui reste le déterminant du comportement caractéristique de chaque cellule de l'espèce.

SIGNIFICATION DES PARTICULES DANS LA CELLULE

Il est ainsi aisé de voir que l'on peut dans les grandes lignes comparer la cellule à un système de communication à double sens, et nous avons des indications que ceci pourrait être rendu plus précis et fournir une méthode nous permettant de décrire l'insaisissable organisation de la cellule. Un des faits les plus frappants de la cytologie est que la plus grande partie du matériel cellulaire est agrégée en particules de types variés que l'on retrouve, avec des variations de détail, dans toutes les cellules animales et végétales. Les chromosomes, avec leur subdivision en chromomères et bandes, en sont l'exemple le plus familier. On trouve dans le cytoplasme des formations variées, mitochondries, lipochondries (corps de Golgi), réticulum endoplasmique et microsomes. Les cytologistes ont reconnu depuis longtemps que ces formations ne sont pas composées d'une seule espèce chimique, mais sont des agrégats très compliqués. Par exemple, les mitochondries sont des structures complexes renfermant des protéines et des phosphatides et servent de support à une gamme étendue d'enzymes [33].

Le fait que ces agrégats complexes sont disposés en formations distinctes est peut-être un de leurs traits les plus significatifs, en tant que constituants fondamentaux des systèmes vitaux qui maintiennent des états stables. Les théoriciens des communications connaissent bien le fait que, si l'on

doit transmettre un message le long d'un canal et le garder stable, il doit être formé d'unités discontinues [24, 34].

Il se peut que nous voyions ici la signification du fait que les cellules contiennent des agrégats granulaires distincts. On peut comparer chacune de ces particules cellulaires à un signal. Il a une signification définie comme transporteur de ce que nous pouvons appeler un sens conventionnel, étant donné qu'il a été construit dans le passé par sélection de matériaux aptes à produire un effet particulier dans des conditions appropriées. Chaque granule ou particule, comme un mot, se construit jusqu'à ce qu'il soit complet et puisse opérer en tant qu'unité, capable de déterminer une certaine réponse métabolique, suivant les conditions qu'il rencontre. Etant composée de telles unités, la cellule est capable de transmettre un schéma stable de comportement.

AVANTAGES DE LA MICROSCOPIE POUR L'ÉTUDE DE L'ORGANISATION CELLULAIRE

Si cette conception a quelque valeur, il y a intérêt pour les cytologistes à étudier ces composants cellulaires, leur mode de formation, leur fréquence et leur distribution. Malheureusement les données quantitatives appropriées sont encore peu nombreuses et il faudra les réunir en vue des objectifs ci-dessus. Les microscopes optique et électronique sont des instruments très appropriés bien que subissant de sévères limitations. Il est difficile avec eux d'identifier la composition chimique des particules, bien que l'histochimie ait fait de grands progrès sous ce rapport. Le grand avantage des microscopes est de fournir un pouvoir élevé de résolution dans l'espace. La gamme des particules cellulaires depuis quelques ångströms de diamètre, ainsi que leurs relations et leur distribution dans la cellule, peuvent difficilement être étudiées par les méthodes d'isolement.

La grande quantité d'eau des tissus vivants rend la microscopie difficile, puisqu'on doit la retirer pour obtenir une résolution élevée. Cependant si les procédés de préparation sont correctement conduits, ceci ne doit introduire aucune difficulté insolite de principe. La difficulté la plus importante du travail à un fort pouvoir de résolution optique est peut-être qu'on ne peut étudier la cellule qu'à un seul instant. Cette médiocre résolution dans le temps ne peut se surmonter que par les expériences laborieuses où l'on fixe des séries d'échantillons.

NEURONES, MATÉRIAUX D'ÉTUDE DE LA TRANSMISSION À L'INTÉRIEUR DES CELLULES

Les neurones permettent de beaucoup de manières l'étude de l'organisation et des communications à l'intérieur des cellules. Ils sont grands et comportent des parties distinctes (figure 2). Il est facile de montrer que toutes les parties d'un neurone sont sous le contrôle du noyau, situé dans le corps cellulaire. Toute partie coupée du corps cellulaire commence à montrer des signes de dégénérescence au bout de quelques heures. Donc, au cours de la vie, quelque chose qui empêche la dégénérescence doit être transmis aux parties distales de la cellule. Il y a aussi transmission dans le sens inverse, car après section d'une fibre nerveuse, des modifications se produisent à l'intérieur du corps cellulaire, où se déclenche un processus actif de synthèse protidique, permettant la régénération de la fibre nerveuse (p. 8). En effet, le système de synthèse du corps cellulaire modifie ses opérations pour s'adapter à l'activité fonctionnelle qui s'est produite et aux matériaux bruts fournis. Une autre preuve de communication entre les différentes parties d'un neurone est que, lors de la prise de contact d'une jeune fibre nerveuse avec un muscle, la fibre toute entière subit une stimulation de croissance [1]. Le problème est d'identifier le système de transmission en cause et de découvrir s'il opère au moyen d'unités séparées ou signaux.

LE NOYAU

Le noyau contient de nombreuses particules hautement spécifiques, les gènes, mais dans les neurones adultes on ne peut détecter aucun signe visible de ceux-ci ni au microscope optique ni au microscope électronique. Les acides nucléiques du noyau lui donnent la propriété caractéristique de prendre les colorants basiques (figures 3–6, 27 et 29). La coloration n'est pas uniforme et l'on trouve des types variés de corpuscules relativement grands. Dans les neurones des mollusques céphalopodes comme le calmar, la seiche ou la pieuvre, on a ordinairement un nucléole très basophile et un ou plusieurs corpuscules moins basophiles, les plasmosomes. Il existe aussi beaucoup de granules basophiles plus petits et un suc nucléaire non résolu par le microscope optique. Le nucléole est un constituant de presque tous les noyaux. Les méthodes de colorations spécifiques et l'absorption en lumière ultra-violette à 2750Å montrent qu'il contient de grandes quantités d'acide ribonucléique (ARN). Les nucléoles

augmentent de volume dans toute cellule qui opère une synthèse protidique rapide, par exemple dans les cellules nerveuses qui régénèrent après section de leur fibre. On pense que le nucléole est le siège de l'accumulation de l'ARN durant cette synthèse à partir, ou sous le contrôle, de l'ADN [7, 12].

Chez le lièvre de mer, *Aplysia*, le nucléole contient un ou plusieurs corpuscules dont l'indice de réfraction est très différent du reste. On peut les voir aussi bien sur les cellules vivantes que sur les cellules fixées (figures 7–10 et 12), mais leur nature est inconnue. Les détails de l'organisation des nucléoles restent obscurs. Sur les photographies au microscope électronique, il peut paraître contenir de nombreuses aires sphériques de moindre densité (figure 1), mais ce peut être des artefacts et l'on a dit que le nucléole contenait des masses de filaments, avec parfois des granules adhérents [5].

Bien que dans la plupart des noyaux adultes les chromosomes ne soient pas visibles, le suc nucléaire n'est certainement pas homogène. Dans les neurones de mammifères, il existe des corps opaques au microscope électronique, de tailles variées. Certains sont finement granulaires et peuvent montrer des signes de dispositions régulières des granules. Le suc nucléaire contient de plus de nombreuses sphères opaques au microscope électronique, de diamètre supérieur à 200 mμ qui sont peut-être les précurseurs des lipochondries (p. 10). On doit aussi faire mention du satellite nucléolaire, corps basophile contenant de l'ADN qui est plus important dans les neurones de mammifères femelles que chez les mâles et représente donc probablement la chromatine sexuelle dérivée des chromosomes X [25].

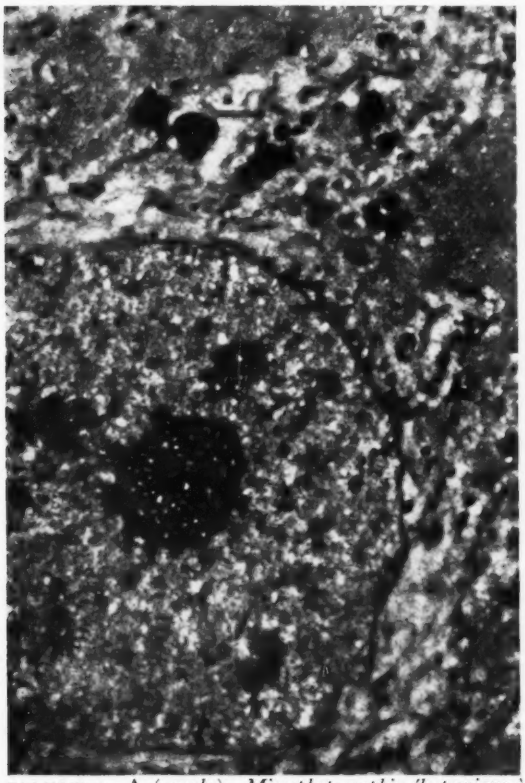
La limite entre le noyau et le cytoplasme est marquée par une membrane, atteignant 40 mμ d'épaisseur, qui doit être le siège de processus importants réglant le passage des matériaux vers l'intérieur et l'extérieur. On voit ceci dans une cellule vivante (figure 13) et sur des photographies prises au microscope électronique (figures 1 et 2). Les détails de sa composition sont encore inconnus. Elle contient deux couches denses séparées par une couche plus légère qui atteint 20 mμ d'épaisseur. Celle-ci n'est pas d'une densité uniforme et les deux autres peuvent se rejoindre en certains points, qui peuvent constituer des pores ou des canaux de perméabilité différente (figure 2) [27, 18]. Il est peu douteux que de très grosses particules traversent la membrane, mais on a peu de preuves permettant d'affirmer qu'elles vont vers l'intérieur aussi bien que vers l'extérieur, ou ce qui contrôle leur formation. Les principaux constituants cytoplasmiques que l'on décrira ci-dessous — mitochondries, ergastoplasme, et lipochondries — peuvent tous se trouver près de la surface externe de la membrane nucléaire (figure 1), et il serait extrêmement intéressant de savoir s'ils se forment là ou s'ils passent à travers la membrane.

Notre connaissance de la structure nucléaire visible nous fournit à l'heure actuelle des suggestions, mais peu de faits, sur la manière dont le noyau reçoit l'information venant du cytoplasme et transmet ses instructions en retour. L'indice le plus net est l'augmentation de la production de ribonucléotides dans le nucléole, quand on stimule la synthèse protidique. On peut supposer que l'ARN passe vers l'extérieur à travers la membrane nucléaire, pour former la matière première des phénomènes de synthèse dans le cytoplasme. Ce que nous avons besoin de connaître, c'est si ce transport se fait suivant un courant continu ou sous forme de particules distinctes. Au cours de la régénération d'une cellule nerveuse, après blessure de son axone, il apparaît probablement du nouvel ARN à la surface nucléaire (figure 6). La membrane nucléaire montre alors des plis et des épaississements [18], et l'on peut voir des vésicules à l'intérieur de ces plis, peut-être formées là. On a vu au microscope électronique des masses opaques de granules des deux côtés de la membrane nucléaire, ce qui suggère que le transport se fait sous forme de granules. Les opinions varient sur la nature de ces corps qui se forment à la surface nucléaire; ce peut être de l'ergastoplasme [14] ou des mitochondries [18, 9]. Certains faits suggèrent aussi que les lipochondries pourraient se former à la surface nucléaire (voir ci-dessous). Nous avons donc des indications suivant lesquelles les communications entre noyau et cytoplasme se feraient sous forme de signaux constitués par des agrégats organisés.

ACIDES NUCLÉIQUES DU CYTOPLASME

L'une des caractéristiques des cellules nerveuses est que leur cytoplasme contient de grandes quantités de substance basophile appelée du nom de celui qui l'a découverte, substance de Nissl. On sait maintenant qu'elle comprend des ribonucléotides, disposés en unités de structure spécifique auxquelles on a donné le nom de réticulum endoplasmique ou ergastoplasme [27].

La substance de Nissl apparaît au microscope optique sous forme de masses très basophiles souvent divisées en masses secondaires par des espaces



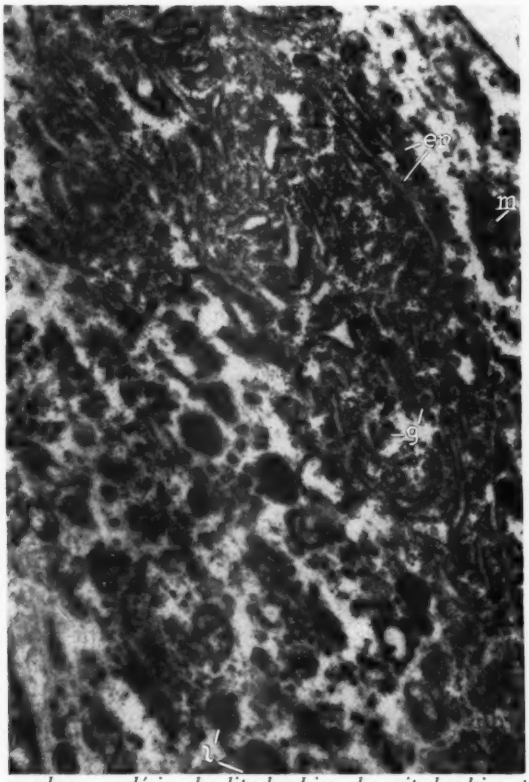


FIGURE 1 – A (*gauche*). *Microphotographie électronique à faible grossissement du noyau d'un neurone de la moelle épinière du lapin; fixée à l'acide osmique; photographiée sans enlèvement de la substance d'inclusion. Grand nucléole et masses de chromatine (ADN?). Le suc nucléaire contient plusieurs granules, en particulier des sphères opaques relativement grandes (précurseurs des lipochondries?). Au delà de la membrane nucléaire des lipochondries, des mitochondries et des corps de Nissl, ne montrant pas l'organisation interne* (× 10 000). —B (*droite*). *Portion de cytoplasme d'un neurone de chat, vésicules, er, du réticulum endoplasmique, granules qui y sont fixés (microsomes), g. Les mitochondries, m, montrent leur division interne par des cloisons; l, lipochondries* [27]. (× 24 000)

plus clairs (figures 3–6 et 41]. Le microscope électronique montre les corps de Nissl sous forme d'agrégats de sortes de tubes souvent couverts, mais pas toujours, de fins granules (figure 1 B). Les tubes peuvent prendre différentes formes: aplaties, tubulaires, vésiculaires, formant un système ramifié et anastomosé. Les membranes limitantes ont 6–7 mμ d'épaisseur et la lumière varie entre 30 et 50 mμ avec d'importantes dilatations. Les granules, liés à ces tubules, ont 10–30 mμ de diamètre et sont habituellement disposés en paquets ou rosettes de cinq ou sept mais se trouvent parfois isolés ou alignés en rangées. Les granules sont comparables aux microsomes, particules basophiles que l'on peut isoler du foie et d'autres tissus par centrifugation [10]. Pour les cellules du foie, on a montré que cette fraction contient des enzymes protéolytiques.

A partir du noyau les corps de Nissl deviennent en général de plus en plus petits et forment un réticulum de moins en moins régulier. En se rapprochant du bord de la cellule ou d'un dendrite, le réticulum se fragmente en constituants de plus en plus petits et, dans les parties tout à fait périphériques, il devient un réseau très lâche ou même apparaît sous forme de tubules séparés accompagnés ou non de granules. Dans les préparations de la figure 41, l'enlèvement du plastique a déformé les éléments du réticulum qui apparaissent comme des fibres portant des granules.

On peut suivre approximativement la distribution de ce matériel dans la cellule au microscope optique en étudiant la basophilie. Le cytoplasme du corps cellulaire prend fortement les colorants basiques, montrant les corps de Nissl. En s'éloignant du corps cellulaire le long des axones ou des

dendrites, la coloration diminue d'intensité rapidement d'abord, puis plus lentement. On ne dispose d'aucune mesure de cette modification, mais la différence qui existe entre les points situés près ou loin du corps cellulaire, montre clairement l'endroit où la partie distale d'une cellule vient en contact avec la partie la plus proximale d'une autre à la synapse (figures 14 et 36).

Tout ceci est compatible avec l'idée que le réticulum endoplasmique et ses acides ribonucléiques interviennent dans la synthèse de matériaux, peut-être protidiques, sous l'influence du noyau. Des ribonucléoprotéines peuvent se produire à l'intérieur du corps cellulaire, puis passer dans le nerf pour diriger là un complément de synthèse. Une fibre nerveuse dont l'axone a 10 μ de diamètre, peut avoir un mètre ou plus de long, et il est difficile d'imaginer comment peut s'effectuer le transport le long d'un canal aussi étroit. Néanmoins, il y a des raisons de penser que ce transport se fait. Des mouvements actifs le long des axones se voient aisément en culture de tissus et de nombreux arguments suggèrent un transport du côté opposé de la cellule le long des fibres nerveuses [37, 41]. Toute partie de la cellule nerveuse dépend du corps cellulaire et, sectionnée, commence à dégénérer et disparaît en peu de jours. Il doit donc y avoir une sorte de transmission le long de la fibre nerveuse responsable du maintien de l'organisation. Les fibres nerveuses ont souvent des contours ondulés (figure 16), et on a pensé que la matière dont elles sont faites a des propriétés liquides et tend à se fragmenter sous l'action de la tension superficielle [41]. La pression à l'intérieur de la fibre empêcherait cette fragmentation, et il y aurait aussi probablement un transport continu de matière le long de la fibre. Si l'on isole complètement des cellules nerveuses, on peut parfois observer pendant quelques heures des signes de mouvement de la substance de Nissl du corps cellulaire vers l'axone (figure 17).

Les nucléotides du cytoplasme modifient aisément leur activité en réponse aux modifications de la fibre nerveuse. Si l'axone est coupé, la quantité de substance de Nissl diminue d'abord (figure 5, chromatolyse) puis se reforme à la surface du noyau ou près de celle-ci (figure 6). De plus, si un neurone est en activité constante pendant quelque temps, la quantité de ribonucléotides cytoplasmiques s'accroît [20]. Il doit donc y avoir quelque chose qui permet la transmission des parties périphériques de la cellule vers le centre.

LES LIPOCHONDRIES

Le système connu sous le nom d'appareil de Golgi contient des substances variées. On peut le voir clairement sur des neurones de mollusques, que nous considérerons ici [40]. Les corps de Golgi sont primitivement des sphères, les lipochondries [3], qui contiennent des phosphatides et d'autres matériaux. Ils sont colorés en jaune dans certaines cellules (voir ci-dessous) et se colorent vitalement avec le rouge neutre, le bleu de méthylène et d'autres colorants. Ces corps sont associés à d'autres substances et tout le système peut prendre l'aspect d'un réseau ou d'autres formes après fixation, spécialement à cause de la grande sensibilité des lipochondries aux modifications de la pression osmotique (voir ci-dessous).

Si l'on examine des coupes minces d'un ganglion de pieuvre ou de seiche dans de l'eau de mer, on voit de nombreuses sphères incolores ou légèrement jaunes autour du noyau. Ces corps prennent le rouge neutre (figure 18), colorant qui parfois imprègne des structures préformées dans les cellules, bien qu'il puisse aussi susciter des réactions conduisant à la production de corps qui n'existaient pas auparavant. Dans ces cellules nerveuses de céphalopodes, on peut voir les corps non-colorés et y suivre l'apparition de la couleur, quand on introduit une solution diluée de rouge neutre sous la lamelle. Les corps colorés montrent des modifications intéressantes en fonction de la tonicité du milieu, dans les solutions hypotoniques ils se gonflent et dans les solutions hypertoniques ils se rétractent. Le phénomène est réversible et l'on peut observer le passage d'une seule gouttelette par plusieurs cycles complets (figures 19–25). Quand ils sont rétractés, leur surface se plisse souvent (figures 22 et 24) et le corps peut présenter des formes variées dont certaines suggèrent que la plasmolyse a atteint un compartiment interne de la gouttelette, laissant le contour extérieur originel faiblement apparent (figures 20 et 24). De tels aspects en croissant sont difficiles à interpréter, sauf si l'on admet que la gouttelette est limitée par deux membranes que l'on peut séparer [40, 42]. Le microscope électronique ne fournit aucune preuve de l'existence d'une double couche autour de ces organites dans les cellules nerveuses de mollusques. On a montré que d'autres constituants possèdent une double membrane, en particulier les mitochondries [11, 26], et qu'ils se contractent ou se dilatent suivant les modifications de tonicité du milieu [10, 35, 32].

Les propriétés de telles membranes intracellulaires sont évidemment d'un grand intérêt

FI
d'
pl
pr
Le
d'
ma
po
Ga
3,
ter
(m
Po
de
de

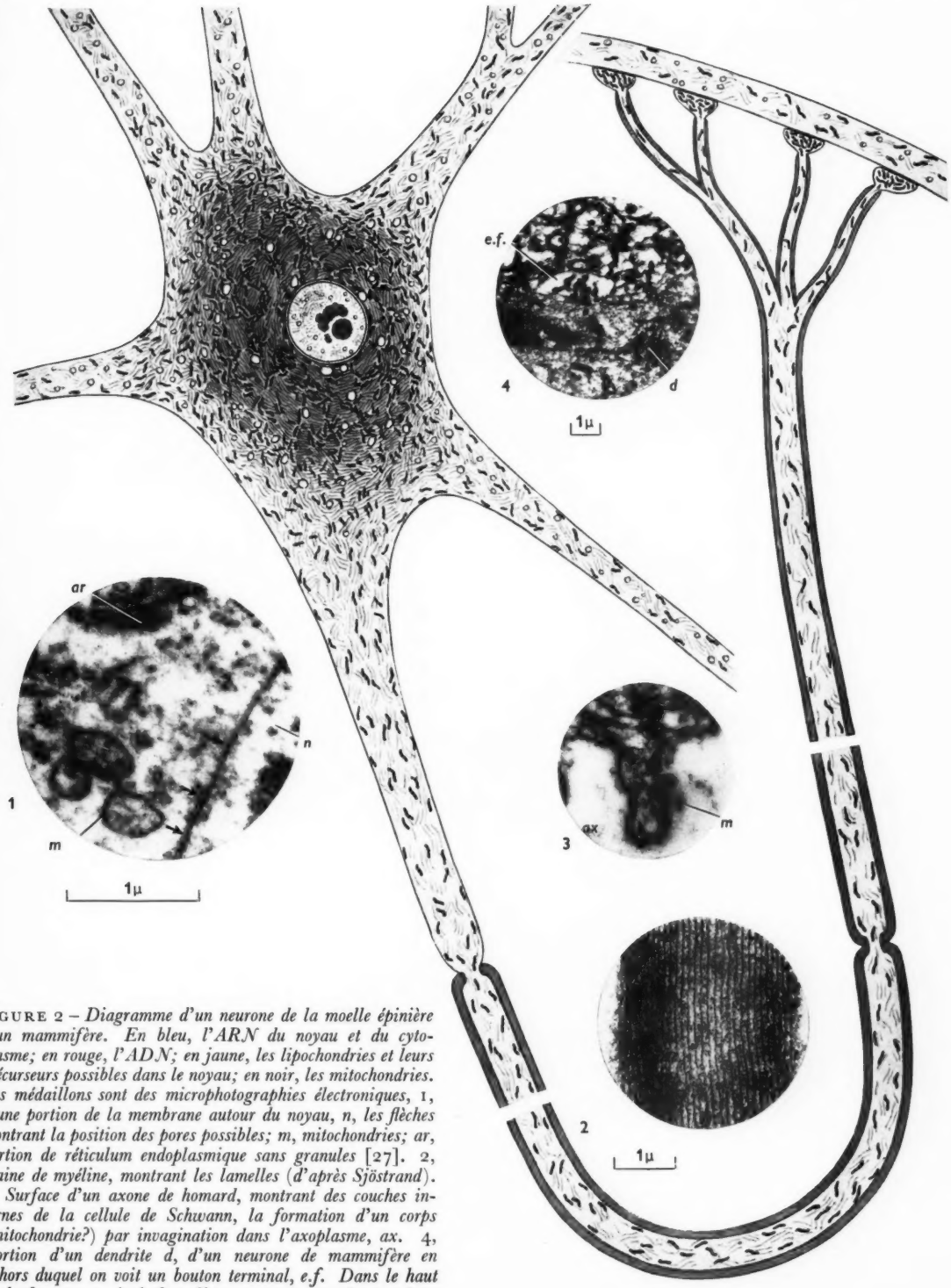
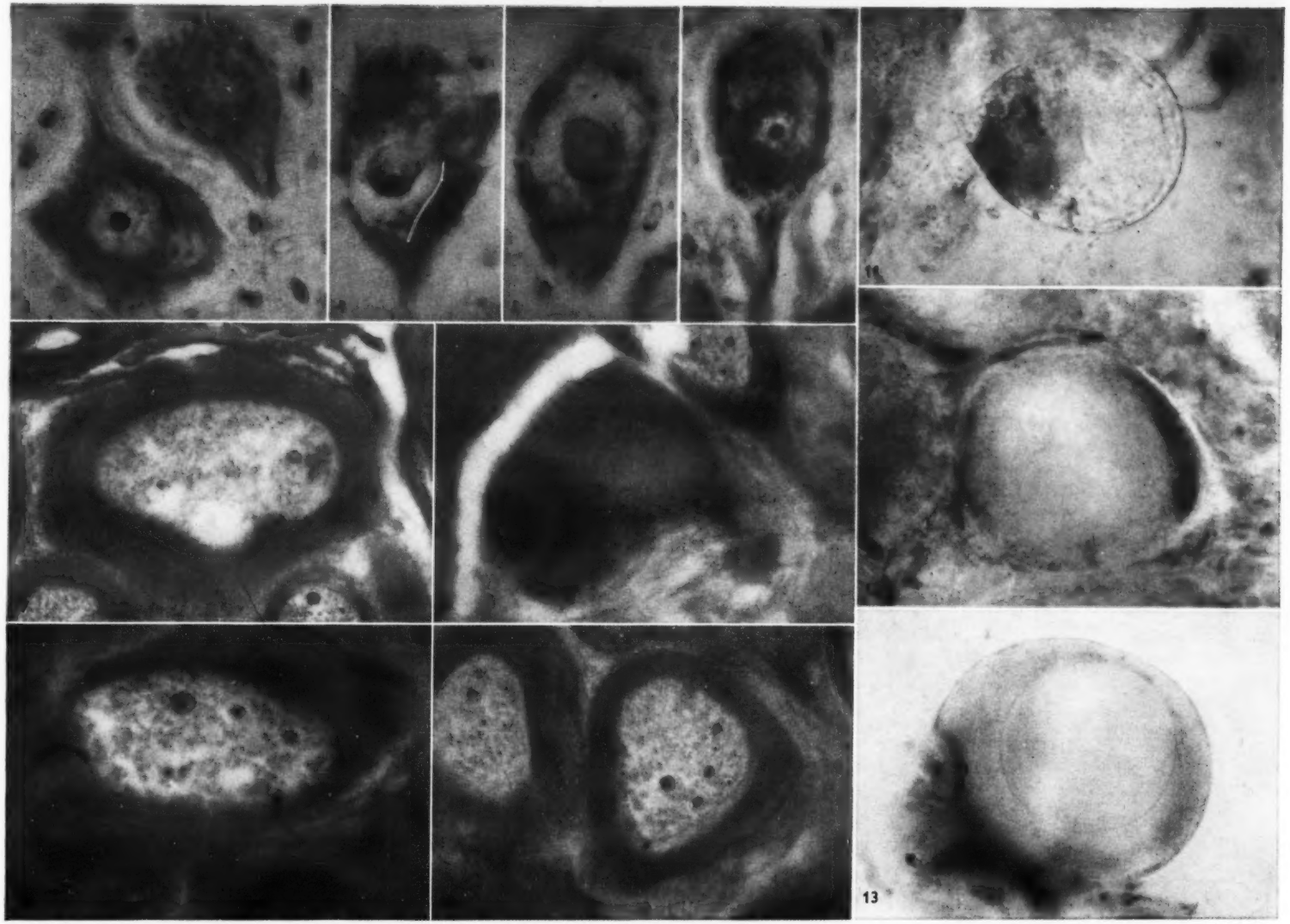


FIGURE 2 – *Diagramme d'un neurone de la moelle épinière d'un mammifère. En bleu, l'ARN du noyau et du cytoplasme; en rouge, l'ADN; en jaune, les lipochondries et leurs précurseurs possibles dans le noyau; en noir, les mitochondries. Les médaillons sont des microphotographies électroniques,* 1, *d'une portion de la membrane autour du noyau, n, les flèches montrant la position des pores possibles; m, mitochondries; ar, portion de réticulum endoplasmique sans granules* [27]. 2, *Gaine de myéline, montrant les lamelles (d'après Sjöstrand).* 3, *Surface d'un axone de homard, montrant des couches internes de la cellule de Schwann, la formation d'un corps (mitochondrie?) par invagination dans l'axoplasme, ax.* 4, *Portion d'un dendrite d, d'un neurone de mammifère en dehors duquel on voit un bouton terminal, e.f. Dans le haut de la figure, on voit de fines fibres nerveuses avec leurs gaines.*



FIGURES 7–10 – *Neurones du lièvre de mer* (Aplysia). *Fixation au mélange acides chromique, osmique et acétique, coloration à la safranine. Les nucléoles basophiles contiennent des corps réfringents peu colorés. Les nucléotides cytoplasmiques apparaissent sous forme d'une couronne rouge autour du noyau. Les lipochondries sont colorées en noir par l'osmium (particulièrement dans la figure 8).*

FIGURE 3 – *Cellule de la moelle épinière d'un chat.*
FIGURE 4 – *Neurone normal de pieuvre.*
FIGURE 5 – *Cellule nerveuse de pieuvre, l'axone coupé 7 jours auparavant; disparition des nucléotides cytoplasmiques.*
FIGURE 6 – *Cellule semblable, 17 jours après la section de l'axone. Les nucléotides ont réapparu. Les figures 3–6: fixation au Carnoy, coloration au bleu de toluidine; d'éléments basophiles (nucléotides) du*

FIGURES 11–13 – *Neurones vivants du lièvre de mer* (Aplysia) *examinés dans l'eau de mer. Le gros noyau contient de fins granules; dans la figure 12, on voit un nucléole avec un centre réfringent. Il y a dans le cytoplasme des amas de lipochondries contenant un pigment jaune.*

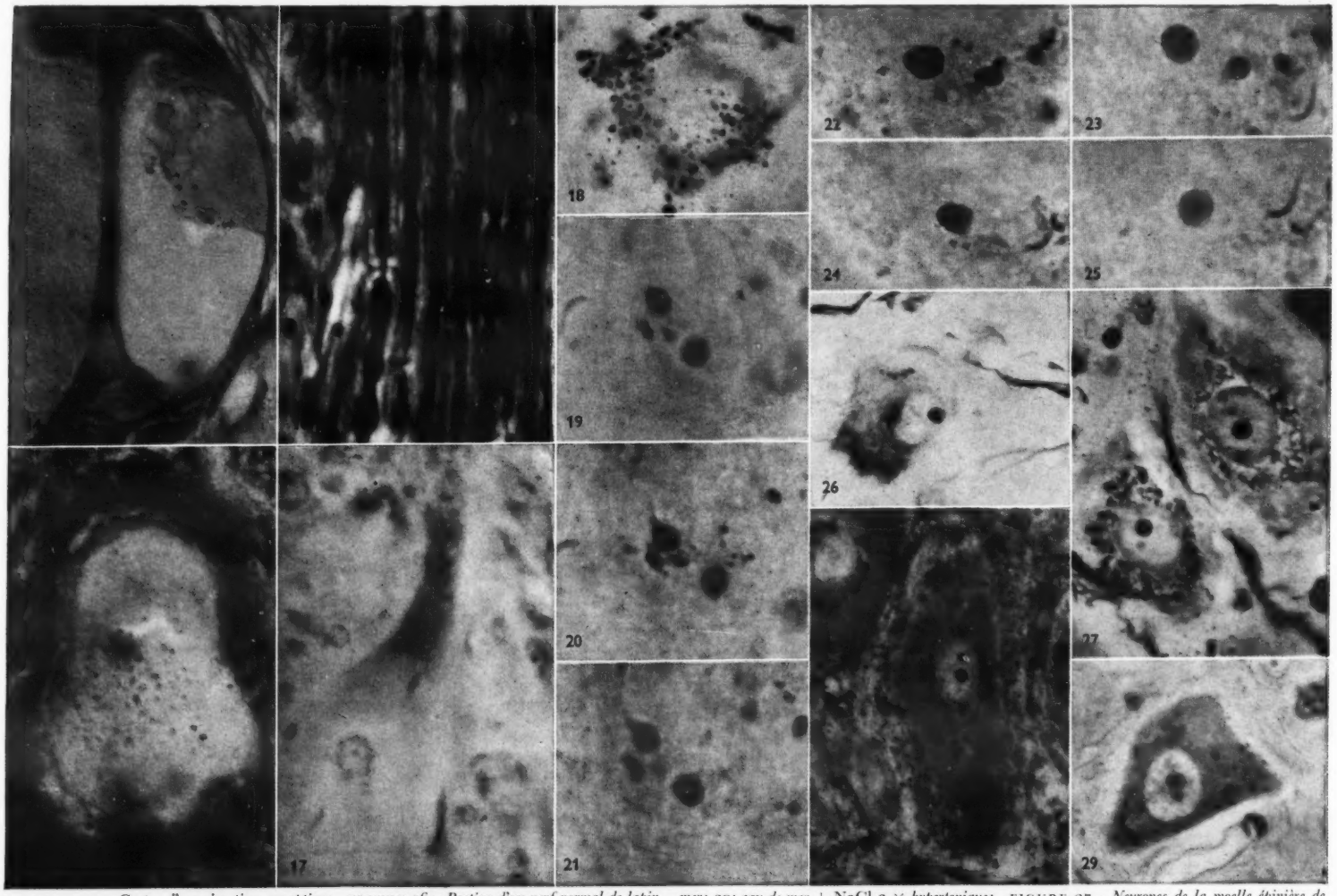


FIGURE 14 – *Coupe d'une jonction synaptique géante du calmar. La fibre afférente (présynaptique) est difficile à colorer, l'axoplasme post-synaptique est noir. Le contact entre les deux est réalisé par une langue de protoplasme post-synaptique issue du corps principal de la fibre géante (à gauche). Près de la surface de contact, des granules synaptiques rouges. Fixation à l'acide picrique dans l'eau de mer, coloration: trichrome de Masson.*

FIGURE 15 – *Coupe d'un dendrite d'une cellule géande te calmar. Les fibres présynaptiques se terminent en boutons, granules synaptiques rouges. Prép. comme la figure 14.*

FIGURE 16 – *Portion d'un nerf normal de lapin, montrant la limite ondulée des axones. Fixé au Bouin, coloré au Bodian et au trichrome de Masson. Les axones sont pourpres, le tissu conjonctif vert. La myéline a été dissoute.*

FIGURE 17 – *Cellule nerveuse d'une pieuvre tirée d'un ganglion prélevé et gardé 24 heures avant fixation dans l'alcool, coloré au bleu de toluidine. Les nucléotides cytoplasmiques ont descendu l'axone.*

FIGURE 18 – *Cellule nerveuse de seiche, après isolement dans l'eau de mer et coloration au rouge neutre.*

FIGURES 19–21 – *Lipochondries séparées de seiche colorées au rouge neutre. 19: dans l'eau de mer; 20: eau de mer + NaCl 3 × hypertonique; 21: eau de mer à concentration moitié.*

FIGURES 22–25 – *Expérience similaire. 22: eau de mer; 23: eau de mer à concentr. moitié; 24: eau de mer 3 × hypertonique; 25: de nouveau concentr. moitié.*

FIGURE 26 – *Neurones de la moelle épinière de lapin colorés à l'argent (da Fano), coloration de fond au rouge neutre et au vert lumière. Lipochondries: sphères noires, peuvent confluer pour former des réseaux. Nucléotides des nucléoles et la substance de Nissl: en rouge ou en brun, mitochondries en vert.*

FIGURE 27 – *Neurones de la moelle épinière de lapin. Da Fano, puis coloration à l'Azan, nucléotides rouges ou brunâtres.*

FIGURE 28 – *Neurones de pieuvre, colorés à l'argent (da Fano) et au bleu de toluidine. Les lipochondries apparaissent sous forme de sphères dorées déformées, parfois à bords sombres. Nucléotides en bleu ou vert-brun.*

FIGURE 29 – *Neurones de pieuvre colorés à l'osmium (Kopsch), coloration secondaire à la fuchsine acide. Lipochondries: rouges, présentant des corps associés colorés à l'osmium.*

FIGURE 30 – *Mitochondries dans une cellule nerveuse de moelle épinière de lapin. Fixation au formol, post-chromisation, inclusion au Carbowax, coloration par une méthode argentique.*

FIGURES 31 *et* 32 – *Terminaison synaptique dans la moelle épinière du lapin. Fixation au formol, coloration Cajal, inclusion au Carbowax.*

FIGURES 33 *et* 34 – *Terminaisons synaptiques colorées pour montrer leurs mitochondries. Fixation au formol, post-chromisation, inclusion au Carbowax, coloration à l'argent (Bielschowsky).*

FIGURE 35 – *Coupe longitudinale d'une partie post-synaptique d'une fibre nerveuse géante de calmar (voir figure 36). Des «neurofibrilles» dans l'axoplasme. L'axoplasme immédiatement au-dessous de la synapse contient des granules synaptiques, matériel moins basophile que le reste. Fixation au picroformol dans l'eau de mer, coloration de Mallory.*

FIGURE 36 – *Vue à faible grossissement d'une synapse géante du calmar, prép. comme la figure 35. Les fibres présynaptiques sont peu colorées à cause de leur pauvreté en nucléoprotéines.*

FIGURE 37 – *Nœud de Ranvier dans des nerfs de lapin. Bouin, Bodian, Mallory. Axones en pourpres, collagène en vert; la myéline a été dissoute.*

FIGURES 38 *et* 39 – *Fibres nerveuses d'une grenouille, coloration supravitale au bleu de méthylène, qui pénètre seulement aux nœuds. Myéline faiblement colorée en brun par l'acide osmique.*

puisqu'elles représentent des lieux de contrôle des phénomènes métaboliques. On a souvent affirmé que les principales surfaces régulatrices de la cellule sont la membrane cellulaire externe et la membrane nucléaire. La situation est beaucoup plus compliquée, si nous avons à considérer la présence de plusieurs autres types de surfaces, comme celles du réticulum endoplasmique, des mitochondries et des lipochondries. Par exemple, de nombreux calculs sur l'eau libre du corps sont fondés sur l'existence d'échanges osmotiques à la surface cellulaire. Le fait qu'ils puissent se faire à l'intérieur de la cellule rend inutile de supposer la présence de grandes quantités d'eau extracellulaire dans les tissus [22].

Les méthodes classiques de mise en évidence des substances de l'appareil de Golgi comportent une fixation et une coloration à l'osmium ou à l'argent (figures 27–29). On a beaucoup discuté la relation entre les réseaux que montrent ces méthodes et les corps qui prennent le rouge neutre. M. Parat [28] et d'autres auteurs ont considéré que l'appareil de Golgi, vu après fixation, ne représente que des vacuoles colorables au rouge neutre déformées. Cette opinion n'est certainement pas entièrement correcte, car d'autres matériaux peuvent s'associer avec les lipochondries. Les choses diffèrent suivant les types de cellules, et il faut en outre tenir compte de l'effet du rouge neutre sur les cellules. Dans les neurones de céphalopodes, les corps qui prennent le rouge neutre sont certainement étroitement associés avec les structures mises en évidence par les méthodes de Golgi. Dans ce cas, on peut voir autour du noyau des corps sphériques, légèrement colorés à l'osmium ou à l'argent (figures 27 et 28). Parfois les corps sont en croissant, résultat probable d'une déformation pendant la fixation. Les corps plus éloignés du noyau sont souvent plus gros, comme dans la cellule vivante et on peut parfois les voir se rejoindre pour former un réseau.

Ce ne sont pas toujours ces corps qui sont les plus colorés après imprégnation avec les métaux indiqués. On trouve dans les mêmes régions des granules plus sombres entre les corps plus gros, colorables au rouge neutre et souvent à leur surface. On peut par des méthodes appropriées colorer les corps les plus gros à la fuchsine acide, ce qui prouve qu'ils sont distincts des granules (figure 28).

On sait depuis longtemps que l'appareil de Golgi contient deux composants: l'un prenant très fortement la coloration, l'autre plus légèrement, non seulement dans ce cas, mais dans beaucoup d'autres. L'histochimie a montré la présence possible de nombreux autres composants, par exemple, un mucopolysaccharide [8]. Nous avons alors évidemment affaire à un agrégat d'une certaine complexité, et une telle multiplicité serait en accord avec la conception faisant de l'appareil de Golgi, un autre des groupements fondamentaux de molécules qui assurent la stabilité de l'organisation cellulaire. La dénomination en reste difficile.

Ce matériel se trouve probablement dans toutes les cellules animales et végétales, mais il n'est guère facile d'expliquer la signification des formes variées qu'il prend. Dans les neurones de certains mollusques, les lipochondries de la région périnucléaire montrent une vive coloration jaune ou orange (figures 11–13) [23, 36]. Il existe aussi des granules rouges d'hémoprotéine. Les sphères des ganglions de céphalopodes, déjà décrites, peuvent montrer une légère coloration jaune. Les corps très jaunes prennent le rouge neutre, ainsi que les granules analogues moins colorés des céphalopodes. Ils prennent aussi légèrement l'acide osmique (figure 8) et ont aussi la propriété de se gonfler et de se rétracter de façon réversible suivant les changements de tonicité du milieu. Il y a donc toute raison de penser que, dans tous les neurones de mollusques, les lipochondries contiennent un peu de pigment jaune. Ce pigment, soluble dans l'alcool, est peut-être un caroténoïde [6]. L'irradiation de neurones adaptés à l'obscurité d'*Aplysia* avec une lumière de la longueur d'onde absorbée par le pigment augmente leur temps de réaction [2]. Ceci nous donne peu d'indications sur la fonction normale des lipochondries, mais suggère une relation entre les phénomènes photochimiques de l'œil, qui mettent en jeu des dérivés caroténoïdes, et un métabolisme cellulaire plus général.

On a fait beaucoup d'hypothèses sur la fonction de l'appareil de Golgi, le plus souvent en rapport avec le fait que l'on y voit des modifications au cours de certaines phases de synthèse cellulaire et que certains grains de sécrétion se forment en rapport avec lui. Par exemple, il a été démontré [38] que les éléments individuels s'accroissent et peuvent produire rapidement des particules de protéines, ou de corps gras, dans les larves en développement. Une autre indication est qu'il y a des systèmes oxydants associés à ces granules [40], et ceci suggère une propriété possible des caroténoïdes comme facteurs d'un système redox. Si les enzymes des synthèses se trouvent dans les lipochondries, elles ont probablement besoin d'une

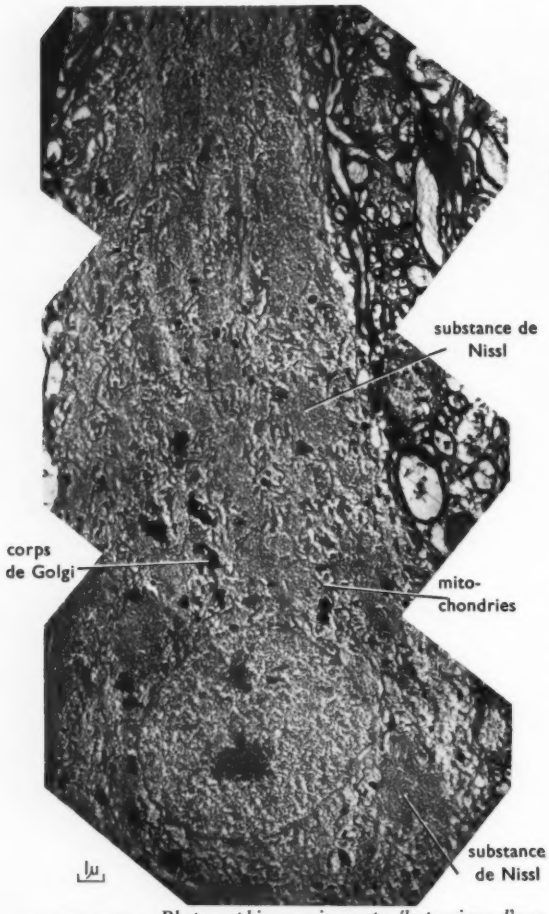


FIGURE 40 – *Photographie au microscope électronique d'une partie du corps cellulaire et d'un dendrite de la moelle épinière d'un lapin.*

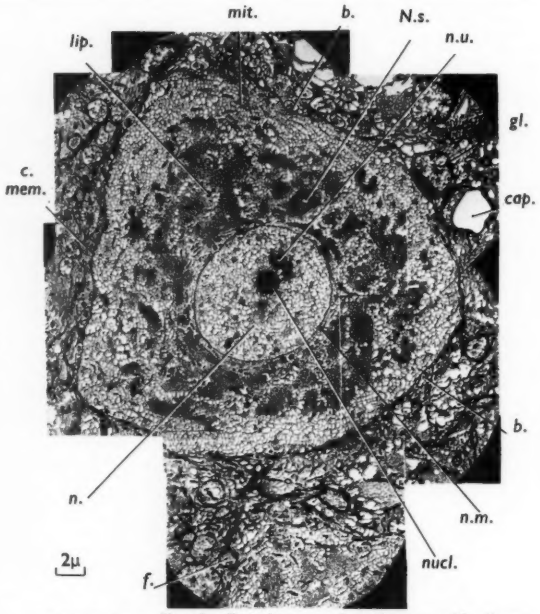


FIGURE 41 – *Dessin d'après une microphotographie électronique d'un neurone de la moelle épinière du lapin. b, bouton; cap., capillaire; c. mem., membrane cellulaire; f, fibre nerveuse; gl, glie; lip., lipochondries; mit., mitochondries; n, suc nucléaire; n. m., membrane nucléaire; N.s., corps de Nissl; n.u., ADN; nucl., nucléole.*

liaison avec des systèmes redox. Il se peut que la structure de chaque lipochondrie soit telle qu'elle oriente les enzymes des synthèses à travailler dans une direction en assurant la ségrégation des produits de réaction dans la vacuole.

Après séparation de l'axone, les cellules nerveuses présentent des modifications intéressantes dans leur appareil de Golgi. De grandes quantités de très petites lipochondries apparaissent près du noyau (figure 26). On peut mettre ceci en rapport avec les phénomènes de synthèse qui accompagnent la régénération de la fibre nerveuse. On ne sait malheureusement pas comment ces particules se forment.

L'état de l'appareil de Golgi dans les cellules nerveuses de vertébrés reste incertain. C'est dans ces cellules que Golgi signala son réseau, mais il est probable que cette forme n'est qu'un artefact de fixation; en effet, la plupart des corps colorés par ces méthodes sont des sphères (figure 29). Après fixation à l'osmium, les lipochondries apparaissent opaques au microscope électronique (figures 1, 40, 41). Leur origine ou leur mode de formation sont inconnus, mais elles sont analogues aux sphères plus petites opaques au microscope électronique, visibles à l'intérieur du noyau. Certaines préparations suggèrent que ces dernières peuvent passer à travers la membrane nucléaire. On a souvent supposé que les lipochondries provenaient du noyau, par exemple dans la formation du vitellus [39]. C'est donc une hypothèse raisonnable que de les considérer comme des particules produites par le noyau, sous le contrôle des gènes.

Les lipochondries sont plus grandes et plus nombreuses dans la région de la cellule autour du noyau. Elles peuvent se trouver associées au réticulum endoplasmique; en effet, on les trouve parfois au centre de lamelles concentriques appartenant à ce dernier. On les trouve encore dans les dendrites, mais plus petites et moins nombreuses; les axones en sont dépourvus. Cette

distribution est en accord avec l'hypothèse qui en fait des particules produites par le noyau et capables de déclencher des activités synthétiques particulières dans le cytoplasme.

LES MITOCHONDRIES

Ces organites, ordinairement en bâtonnets, sont les mieux connus de tous les constituants figurés du cytoplasme. Ils portent une grande partie du système cytochrome oxydase des cellules et beaucoup d'autres enzymes [33]. Ils jouent certainement un rôle actif dans beaucoup de phénomènes métaboliques. On a encore peu de données sur l'origine et la croissance des mitochondries et sur la façon dont les réactions qu'elles dirigent sont contrôlées. Les mitochondries des cellules nerveuses, comme les autres, contiennent un système de cloisons internes (figures 1 et 2). On les trouve dans toutes les parties de la cellule, mais en quantités variables. Elles sont abondantes autour du noyau (figure 30) et sont dispersées entre les gros corps de Nissl du corps cellulaire. Au bord de la cellule, où apparaît le réticulum endoplasmique sous forme de vésicules séparées, les mitochondries sont nombreuses et souvent en contact avec des éléments du réticulum. On en trouve aussi beaucoup dans les dendrites. Elles sont moins abondantes dans l'axone, où elles prennent la forme de bâtonnets très allongés suivant l'axe de la fibre. Les mitochondries sont pourtant très abondantes dans les terminaisons les plus ténues de l'axone, dans les boutons terminaux qui font synapse avec les neurones moteurs de la moelle épinière (figures 33 et 34).

Les mitochondries sont un exemple manifeste d'un agrégat complexe, déterminant les réactions qui se passent à son voisinage. On ne connaît pas leur mode de formation, mais elles peuvent provenir du noyau (voir page 8), ou de la surface cellulaire (p. 17). Elles jouent certainement un rôle très important en réglant le métabolisme de chaque partie du cytoplasme et déterminant les réactions dans lesquelles vont s'engager les molécules entrant dans cette région. Au cours de la période de synthèse active qui, dans le corps cellulaire, suit la section de l'axone, le nombre de mitochondries s'accroît [17].

LES NEUROFIBRILLES

Les techniques histologiques montrent souvent des fibres bien définies à l'intérieur de l'axone. On a vu ces fibrilles sur des cellules nerveuses vivantes, en culture de tissus, mais il est pourtant probable qu'elles ne forment pas ordinairement des éléments figurés importants, dans les conditions normales. Le matériel du corps cellulaire, de l'axone, ou des dendrites peut montrer des signes d'orientation longitudinale (figure 35). Si l'on examine une fibre nerveuse géante de calmar ou de seiche, vivante dans l'eau de mer, on peut y voir de faibles traces de striation longitudinale. Si la fibre subit alors une lésion par piqûre, les striations deviennent beaucoup plus apparentes. Il semble donc que le neurone contienne des particules allongées, qui se réunissent facilement pour former des fibrilles plus apparentes. On a vu au microscope électronique de minces fibres de 6 à 10 mμ de diamètre et de longueur indéterminée [31, 27]. De tels aspects indiquent la présence de molécules capables de former de longues particules. On n'a encore que peu d'éléments sur leur raison d'être, mais il semble possible qu'elles constituent une charpente ou cytosquelette pour les longues fibres nerveuses. S'il en est ainsi, nous ne pouvons les classer parmi les agents du système de communications intracellulaire, en tant que véhicules de signaux qui déclenchent des types spécifiques d'activité, comme les granules que nous avons déjà considérés. Elles peuvent cependant constituer une partie essentielle du système de communications, si les longues molécules aident au transport des particules de signalisation, soit en dirigeant le flux, soit en le favorisant activement.

LA SURFACE DE LA CELLULE NERVEUSE

Les potentiels d'action qui sont les signaux caractéristiques de la cellule nerveuse, se propagent à sa surface; les propriétés de la membrane extérieure de la cellule ont donc une importance spéciale. La membrane est si mince que l'on ne savait presque rien de sa composition avant l'avènement du microscope électronique. Ce dernier la montre sous forme d'une double membrane continue de l'ordre de 10 mμ d'épaisseur, sur toute la surface du corps cellulaire et des dendrites.

Ce qui se passe à la surface de l'axone est compliqué par la présence des couches de myéline. Les axones sont rarement, pour ne pas dire jamais, nus, puisqu'ils sont recouverts par le protoplasme des cellules de Schwann. Les membranes, qui séparent le protoplasme de la cellule de Schwann de celui de l'axone, élaborent des lamelles de lipoprotéines, lesquelles fournissent une surface isolante à la fibre. Dans les fibres à myéline des vertébrés, la couche de myéline, d'une épaisseur de 2 μ ou plus, recouvre tout l'axone à l'exception

des nœuds de Ranvier, disposés à intervalles d'un millimètre ou davantage (figure 37). La seule partie de l'axone en contact immédiat avec le milieu est la minuscule région du nœud. Le courant produit à un nœud s'en va ainsi exciter les régions proches; la gaine accroît donc la vitesse de propagation. Si l'on colore une fibre à myéline avec du bleu de méthylène, le colorant entre seulement au nœud, la myéline isolant le reste de la fibre (figures 38 et 39).

Dans les plus petites fibres nerveuses des vertébrés, et dans celles de la plupart des invertébrés, il n'y a pas de nœuds. Il existe cependant habituellement une gaine à plusieurs couches. Le protoplasme des cellules de Schwann, autour des fibres nerveuses du homard, contient plusieurs couches membraneuses [16]. La plus interne de ces couches se trouve directement en contact avec l'axone et constitue en fait la membrane extérieure de celui-ci (figure 2). Cet endroit présente un intérêt particulier car c'est là que se font les échanges au moment de la charge et de la décharge de la fibre nerveuse, les ions potassium passant à l'intérieur lors de la charge et les ions sodium à l'extérieur [19]. Il y a donc une signification spéciale à la présence de nombreuses mitochondries dans la région externe de l'axoplasme, sous la membrane. De plus, la couche la plus interne de la cellule de Schwann est plissée d'une manière qui suggère qu'elle puisse se pincer pour donner des mitochondries, particulièrement nombreuses dans les couches extérieures de l'axone (figure 2). S'il en est ainsi, nous avons un exemple particulièrement clair d'échange se faisant à l'échelle quantique par transfert d'unités hautement organisées.

A la plaque motrice terminale, où la fibre nerveuse stimule le muscle, il existe une région spécialisée du neurone. Les mitochondries y sont nombreuses et la région possède une grande activité métabolique. L'arrivée du potentiel d'action le long de la fibre nerveuse sert à déclencher la libération, par la plaque terminale, d'une quantité d'acéthylcholine suffisante pour exciter la fibre musculaire. De nouveau, il y a libération d'un quantum. Des quantités unités d'acéthylcholine sont continuellement libérées à la plaque terminale, même au repos [15]. L'arrivée de l'influx nerveux accroît la vitesse de libération des quanta au-dessus du seuil. On ne sait pas encore si ces unités quantiques sont déterminées par le départ d'unités visibles, formées de corps qui passeraient de la terminaison nerveuse au muscle. Le fait qu'il existe des agrégations d'éléments sous la plaque terminale suggère qu'il peut en être ainsi [30]. En tout cas, nous voyons encore une fois une preuve que la stabilité d'une partie du système vivant est assurée au moyen d'une libération d'unités, composées d'agrégats moléculaires relativement compliqués.

LES GRANULES SYNAPTIQUES

On a certaines raisons de penser que l'excitation d'un neurone par un autre se réalise aussi par libération d'unités matérielles préformées. On sait, depuis un certain temps, qu'il existe, aux synapses des cellules géantes, des granules colorables à la fuchsine acide [4, 43]. Chez le calmar, on peut voir ces granules dans les terminaisons présynaptiques (figure 15), entre les deux surfaces (figure 14) et à l'intérieur du neurone postsynaptique (figure 35). Les granules ne sont pas obligatoirement constitués du même matériel dans toutes ces situations; mais ils se colorent tous de la même manière et il n'existe aucun autre matériel entièrement comparable au voisinage. Il y a donc lieu de supposer que là aussi il y a transmission de signaux par libération de particules standard.

Aux synapses de la moelle épinière des mammifères, des granules remarquablement gros remplissent les fibres présynaptiques (figures 2, 33 et 34). Ce sont peut-être des mitochondries ou certains organites plus spécialisées. On n'a pas encore obtenu la preuve évidente du passage des particules à la cellule postsynaptique, mais on a des indications qui le suggèrent [14].

Dans un petit nombre de cas, les fibres nerveuses semblent fonctionner principalement par transport de signaux chimiques sur toute leur longueur. On trouve de tels granules de neurosécrétion dans les fibres qui innervent la glande pituitaire des vertébrés et certaines glandes des invertébrés [21]. Il est probable que cette forme de signalisation est plus efficace que la conduction de l'influx nerveux pour le maintien continu d'un niveau fixe de sécrétion dans une glande. Son intérêt ici est que le produit stimulant soit transmis sous forme de granules visibles.

CONCLUSION

La présence de types variés de particules préformées dans la cellule se trouve entièrement en accord avec l'hypothèse d'une certaine forme de signalisation; à la vérité, si les particules n'étaient pas connues, on pourrait déduire leur présence du fait que des parties éloignées de la cellule maintiennent un état stable d'organisation sous l'influence du noyau. Le problème est de découvrir le mode

de transmission des informations. Le corps cellulaire doit envoyer quelquechose vers la fibre nerveuse puisque celle-ci, coupée, cesse de maintenir son état stable. En revanche, il doit y avoir une transmission de quelquechose vers le noyau, car après section de l'axone il augmente sa synthèse de protides.

Il est vraisemblable que beaucoup de ces effets dépendent d'un système de transmission composé de particules choisies à l'avance: mitochondries, lipochondries, microsomes et vésicules endoplasmiques.

Ces particules ne sont certainement pas distribuées d'une manière uniforme dans la cellule nerveuse. On ne possède aucune représentation de leur fréquence dans les différentes parties. Si on pouvait obtenir de telles représentations, particulièrement pour des cellules prises dans différentes conditions, elles pourraient éclaircir le problème de la formation de ces particules et de la détermination de leur fréquence dans une région donnée. On ne sait pas s'il existe une relation entre tous ces types de particules et les granules que l'on trouve aux surfaces synaptiques, mais nous avons assez de raisons pour suggérer que ce ne sont pas seulement ces granules synaptiques, mais toutes les particules qui permettent à la cellule de maintenir et de transmettre un état stable. On a souvent suggéré que les particules cytoplasmiques étaient auto-reproductrices, surtout les mitochondries, mais on n'en a pas eu la preuve jusqu'ici. Ceci reste possible, toutefois, tant que nous ne savons pas comment elles se forment. La présence de déterminants héréditaires dans le cytoplasme est bien établie (plasmagènes). On a certaines raisons de penser que les particules cytoplasmiques se forment à la surface nucléaire ou près de celle-ci. Il se peut que le noyau fournisse les signaux qui assurent le maintien d'un état stable en libérant ces organites dans le cytoplasme. Ces instructions doivent contrôler le métabolisme de parties de la cellule situées à plusieurs dizaines de centimètres dans le cas d'une longue fibre nerveuse. Il ne serait donc pas surprenant de trouver que leur transport a lieu sous forme de particules visibles, qui transmettraient les instructions d'une manière plus appropriée que ne le ferait un flux continu.

Les photographies au microscope électronique des figures 1(A), 2(4), 40 et 41 ont été prises par R. G. W. Wyckoff, auquel l'auteur adresse ses vifs remerciements. Il tient aussi à remercier Mr. J. Armstrong pour la photographie en couleurs et Miss E. R. Turlington pour le dessin des figures 2 et 41.

BIBLIOGRAPHIE

[1] AITKEN, J. T., SHARMAN, M. et YOUNG, J. Z. *J. Anat., Lond.*, **81**, 1, 1947.
[2] ARVANITAKI, A. et CHALOZONITIS, N. *Arch. Sci. physiol.*, **3**, 27, 1949.
[3] BAKER, J. R. *Quart. J. micr. Sci.*, **85**, 1, 1945.
[4] BODIAN, D. *J. comp. Neurol.*, **68**, 117, 1937.
[5] BORYSKO, E. et BANG, F. B. *J. appl. Phys.*, **23**, 163, 1952.
[6] CAIN, A. J. *Quart. J. micr. Sci.*, **89**, 421, 1948.
[7] CASPERSSON, T. «Cell growth and cell function». W. W. Norton and Company Inc., New York. 1950.
[8] CASSELMAN, W. G. B. *J. R. micr. Soc.*, **74**, 209, 1954.
[9] CAUSEY, G. et HOFFMAN, E. *Proc. roy. Soc.*, Sous presse.
[10] CLAUDE, A. *Biol. Symp.*, **10**, 111, 1943.
[11] CLAUDE, A. et FULLAM, E. F. *J. exp. Med.*, **81**, 51, 1945.
[12] DARLINGTON, C. D. *Symp. Soc. exp. Biol.*, **1**, 252, 1947.
[13] DAVIDSON, J. N. «The biochemistry of the nucleic acids». Methuen and Company Limited, Londres. 1953.
[14] DE ROBERTIS, E. *J. Histochem. Cytochem.*, **2**, 341, 1954.
[15] FATT, P. et KATZ, B. *J. Physiol.*, **117**, 109, 1952.
[16] GEREN, B. B. et SCHMITT, F. O. *Proc. nat. Acad. Sci., Wash.*, **40**, 863, 1954.
[17] HARTMANN, J. F. *Anat. Rec.*, **100**, 49, 1948.
[18] *Idem. Ibid.*, **118**, 19, 1954.
[19] HODGKIN, A. L. *Biol. Rev.*, **26**, 339, 1951.
[20] HYDEN, H. *Acta physiol. scand.*, **6**, 5, 1943.
[21] KNOWLES, F. G. W. *Endeavour*, **14**, 95, 1955.
[22] KREBS, H. A., BARTLEY, W. et DAVIES, R. E. *Proc. roy. Soc.*, B, **142**, 187, 1954.
[23] LEGENDRE, R. *Arch. Anat. micr.*, **10**, 287, 1908.
[24] MANDELBROT, B. *Word*, **10**, 1, 1954.
[25] MOORE, K. L. et BARR, M. L. *J. comp. Neurol.*, **98**, 213, 1953.
[26] PALADE, G. E. *J. Histochem. Cytochem.*, **1**, 188, 1953.
[27] PALAY, S. L. et PALADE, G. E. *J. Biophys. biochem. Cytol*, **1**, 69, 1955.
[28] PARAT, M. *Arch. Anat. micr.*, **24**, 73, 1928.
[29] PETERS, R. A. «Perspectives in biochemistry». Sous la direction de J. Needham et D. A. Green. Cambridge. 1937.
[30] ROBERTSON, D. Sous presse. 1955.
[31] SCHMITT, F. O. et GEREN, B. B. *J. exp. Med.*, **91**, 499, 1950.
[32] SCHNEIDER, W. C. et HOGEBOOM, C. H. *Cancer Res.*, **11**, 1, 1951.
[33] SCHNEIDER, W. C. *J. Histochem. Cytochem.*, **1**, 212, 1953.
[34] SHANNON, C. E. *Bell Syst. tech. J.*, **27**, 379, 1948.
[35] SPECTOR, W. G. *Proc. roy. Soc.*, B, **141**, 268, 1953.
[36] THOMAS, O. L. *Quart. J. micr. Sci.*, **88**, 445, 1947.
[37] WEISS, P. et TAYLOR, A. C. *J. exp. Zool.*, **95**, 233, 1944.
[38] WORLEY, L. G. et WORLEY, E. K. *J. Morph.*, **73**, 365, 1943.
[39] WORLEY, L. G. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **47**, 1, 1946.
[40] YOUNG, J. Z. *Quart. J. micr. Sci.*, **75**, 2, 1932.
[41] *Idem.* « Essays on Growth and Form ». Sous la direction de W. E. Le Gros Clark et P. B. Medawar. Clarendon Press, Oxford. 1945.
[42] *Idem. Quart. J. micr. Sci.*, **94**, 399, 1953.
[43] *Idem. Phil. Trans.*, B, **229**, 465, 1939.

Propos sur l'activité optique

par H. M. POWELL

C'est un hommage au génie de Pasteur, que l'essentiel de ses conclusions sur l'activité optique n'ait pas encore été mis en défaut et que pendant près d'un siècle rien d'important n'ait été ajouté à ses trois méthodes de résolution des substances actives. L'on a cependant découvert depuis quelques années de nouvelles classes de composés dont l'activité optique n'est pas la conséquence directe d'une simple asymétrie moléculaire.

Des corps de constitution chimique particulière existent sous deux formes qui ne diffèrent entre elles que parce que leurs molécules sont symétriques par rapport à un plan et ne sont pas superposables; c'est ce que Pasteur [1] découvrit bien avant que l'on eût attribué aux composés organiques simples des formules précises de structure. Cette idée que les molécules peuvent assumer les deux formes de deux images symétriques est peut-être bien plus ancienne [2].

Lorsqu'on fait passer de la lumière polarisée rectilignement à travers les solutions de certaines substances naturelles, le plan des vibrations lumineuses tourne d'un certain angle autour d'un axe qui coïncide avec la direction de la lumière. L'angle de rotation est proportionnel à la quantité de substance traversée par la lumière; cet effet est donc indépendant des surfaces et provient sans doute des molécules. Les cristaux et les sels de l'acide tartrique naturel présentent des facettes hémièdres et ne sont pas superposables à leurs symétriques. L'acide racémique possède la composition et plusieurs propriétés de l'acide tartrique mais ne fait pas tourner le plan de polarisation. Ses cristaux sont de formes différentes, sans facettes hémièdres. De même ses sels préparés de la façon ordinaire ne présentent pas d'hémiédrie, à l'exception du racémate de sodium et d'ammonium; Pasteur découvrit que ce dernier donnait deux séries de cristaux hémièdres. Les uns étaient identiques aux cristaux correspondants provenant de l'acide tartrique naturel, et les autres étaient symétriques et inconnus jusqu'alors. On peut séparer les cristaux à la main; la deuxième forme donne une variété d'acide tartrique ne différant de la variété ordinaire que parce qu'elle fait tourner en sens inverse le plan de polarisation.

On connaît maintenant de nombreuses substances qui existent sous les deux formes droite et gauche et dans tous les cas, pour une raison ou pour une autre, la molécule est tri-dimensionnelle et n'est pas superposable à son symétrique. Elle peut n'avoir pas elle-même de symétrie, mais comme une hélice elle peut posséder un ou plusieurs axes de symétrie par rotation; après rotation autour d'un de ces axes d'un angle de $360°/n$ (n étant un entier petit) la molécule a le même aspect qu'au départ; elle ne peut avoir de symétrie par rapport à un plan. Pour la commodité on dit qu'un tel corps est dissymétrique.

Presque toutes les réactions de laboratoire pour l'obtention de ces substances fournissent en quantités égales les molécules droites et gauches, si bien que leur solution est optiquement inactive puisque l'effet des molécules qui feraient tourner à droite est annulé par celui des autres qui sont en nombre égal. Ceci n'est pas valable lorsque l'on utilise au départ des substances elles-mêmes optiquement actives, mais presque toutes les méthodes pour l'obtention de molécules dissymétriques, à partir de molécules optiquement inactives, produisent en quantités égales les deux énantiomorphes.

La formation d'une molécule dissymétrique ne nécessite pas d'influence spéciale, mais ce sont les dispositions spatiales relatives des molécules en présence à des instants définis qui produisent l'une ou l'autre des deux formes symétriques. Si la réaction n'est pas soumise à une influence dissymétrique externe ou interne, il y a autant de chances d'obtenir la forme gauche ou la forme droite et comme, à l'échelle du laboratoire, le nombre des molécules en jeu est immense, le produit ne se distinguera d'un mélange en parties égales, que d'une quantité minuscule optiquement impossible à déceler.

C'est assez rarement que l'on a eu l'occasion d'observer la résolution spontanée de ces mélanges racémiques à la cristallisation. On sait avec certitude pour certains corps, et cela paraît vrai pour beaucoup d'autres, que leur structure cristalline contient en nombre égal les molécules droites et gauches de la même façon que les sels d'acide racémique les premiers examinés.

Pasteur, pour séparer un mélange *dl* proposa d'appliquer une influence dissymétrique qui aurait sur chaque forme une influence différente. C'est ce qu'il réalisa [3] en faisant réagir sur un mélange une autre substance dont on pouvait déjà obtenir les deux formes droite et gauche. Un acide *dl* agissant sur une base *d'* peut donner les produits *dd'* et *ld'*. Ceux-ci ne sont pas symétriques et diffèrent en solubilité ainsi qu'en d'autres propriétés comme le feraient n'importe quels autres corps non-énantiomorphes pris deux à deux. On peut donc les séparer par les méthodes ordinaires.

Une autre méthode de Pasteur [4] pour obtenir un corps optiquement actif à partir d'un mélange racémique faisait appel à des organismes vivants. Quand on soumet le racémate d'ammonium à la fermentation, la levure n'agit que sur l'un des sels.

Un certain nombre d'autres méthodes suggérées ou utilisées effectivement sont basées sur l'application d'une influence dissymétrique. Ainsi, certains milieux présentent une absorption inégale de la lumière polarisée circulairement selon qu'elle tourne à droite ou à gauche et dans des mélanges convenables cela peut amener la destruction sélective de l'un des énantiomorphes [5]. La réaction photochimique peut, sous l'influence de la lumière polarisée circulairement, droite ou gauche, favoriser la production de l'une des deux formes [6]. Une autre méthode se sert de l'adsorption de la substance sur des surfaces dont on peut attendre un comportement différent vis-à-vis de molécules droites ou gauches, par exemple celles de cristaux tels que le quartz ou le sucre de canne que l'on peut obtenir sous des formes non-superposables à leurs symétriques par rapport à un plan [7]. L'exploitation récente des phénomènes de sursaturation a permis la résolution de grosses quantités de substances telles que la thréonine racémique [8]. Il suffit d'une petite quantité d'une forme optiquement active pour déclencher une série d'opérations donnant alternativement les formes droite et gauche. On peut isoler de chaque forme en grosse quantité, mais c'est l'influence dissymétrique de la substance active originale qui rend possible cette opération.

Pasteur ne cessait d'insister sur la distinction entre la chimie de la matière vivante et celle des réactifs de laboratoire. En résumé, il disait qu'à l'opposé des produits artificiels du laboratoire les produits essentiels de la vie sont dissymétriques. Il réfuta très énergiquement les suggestions d'exceptions basées sur la résolution par les organismes vivants, en soulignant la dissymétrie introduite par l'organisme lui-même.

Pasteur ne voulait pas dire qu'il était impossible de faire la synthèse des substances dissymétriques; il s'efforça au contraire avec ardeur de la réaliser en utilisant les forces dissymétriques. Il fit plusieurs essais au moyen de méthodes variées dont certaines plus tard lui parurent grossières. Il considérait que l'univers n'était que dissymétrie et disait que si le système solaire avec tous les corps célestes animés de leurs mouvements propres se trouvait placé devant un miroir, son image ne serait pas superposable à la réalité. De même la Terre avec ses pôles magnétiques est un objet non-superposable à son symétrique. Si l'on veut imiter la nature, disait-il, il faut avoir recours à des forces dissymétriques comme celles qui agissent dans les solénoïdes, le magnétisme, les mouvements lumineux dissymétriques, et l'action de substances elles-mêmes dissymétriques. Considérant les polarités opposées associées au magnétisme, il pensa pouvoir à bon droit poser cette question à propos de la formation d'hydrocarbures à partir du carbone dans un aimant d'acier [9]: «L'aimant, pénétré de ce je ne sais quoi qui le fait aimant et qui est, j'imagine, à image non-superposable, ne donnerait-il pas, au moment de la mystérieuse combinaison de son carbone avec l'hydrogène, des molécules dissymétriques? J'irais plus loin; je voudrais comparer les carbures d'hydrogène formés simultanément et séparément par l'attaque des deux pôles d'un aimant». Il se demandait ce qui arriverait si l'on pouvait remplacer l'albumine, la cellulose ou d'autres constituants des microorganismes par leurs formes symétriques. Il existe des produits de la vie qui ne sont pas dissymétriques et l'on a fait la synthèse de nombreux composés organiques dissymétriques, mais on s'est souvent demandé depuis Pasteur pourquoi dans la nature, presque toute la chimie vivante est dissymétrique. Mills [10] a relié ce phénomène à un processus de croissance. Une infime différence de proportion entre molécules droites et gauches, telle qu'elle pourrait se présenter dans une petite unité d'un système vivant amènerait en dernier ressort des modifications chimiques dissymétriques plus efficaces que la série correspondante de réactions dans les substances racémiques. Havinga [11] fait remarquer que la question de savoir comment les premières substances dissymétriques ont apparu dans les organismes vivants n'est pas en elle-même particulièrement urgente. Ce problème se confond avec le grand mystère de la première vie et l'on peut tout aussi bien supposer que la première vie fut dissymétrique ou que la première matière

vivante prit naissance d'abord, et fit ensuite usage de substances optiquement actives.

Quoi qu'il en soit, les processus qui aboutissent à la production de substances optiquement actives sans l'apport délibéré d'aucune autre substance sous une forme résolue présentent un intérêt particulier. Lorsque Pope et Peachey [12] utilisèrent l'acide campho-sulfonique pour résoudre le méthyléthyle-*n*-propyle étain, ils obtinrent en totalité ce sel complexe d'étain sous la forme *d*, sans accumulation dans les eaux-mères de la forme *l*. Cela était dû au fait que la racémisation du complexe dans la solution se faisait rapidement, si bien que celui-ci ne se trouvait éliminé que sous une forme dans le cristal où il ne se racémise pas. Bien qu'elle nécessite l'emploi d'un dérivé optiquement actif du camphre, cette expérience montre comment on peut exploiter la racémisation rapide pour réaliser une sorte de synthèse asymétrique.

On a pu observer souvent l'ensemencement d'une solution saturée de racémique, par un cristal contenant en excès l'une des substances optiquement actives. Ainsi Anderson et Hill [13] découvrirent qu'à partir d'une solution de sulfate d'atropine racémique, la forme *l* cristallisait la première dans un laboratoire où l'on avait racémisé la forme *l*. Bien que dans ce cas-là, ce soit l'atmosphère du laboratoire qui ait fourni des germes, il semble que dans certaines expériences de ce genre, ce soit une substance non optiquement active qui amène la cristallisation. Darmois [14], en 1953, publia les détails de quelques expériences précédentes grâce auxquelles on obtenait un alcaloïde optiquement actif à partir de son chlorhydrate par précipitation au moyen de la pyridine. On attribue ce phénomène à un ensemencement préférentiel, mais aucune substance optiquement résolue ne sert à le déclencher. Ferreira [15] réalisa ainsi une résolution partielle de la narcotine.

Havinga fit une expérience avec une substance optiquement inactive. L'iodure de méthyléthylallylphénylammonium cristallise avec une molécule de chloroforme en un conglomérat de cristaux droits et gauches. A température ambiante une solution de la forme optiquement active se racémise assez lentement et présente encore, au bout de cinq semaines, un pouvoir rotatoire considérable; en refroidissant très lentement une solution racémique, on peut obtenir un cristal, ou un amas de cristaux, constitué par un seul énantiomorphe.

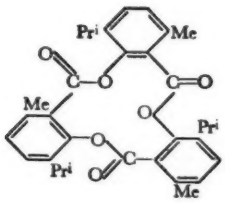
On a récemment utilisé les propriétés des combinaisons moléculaires cristallisées à des résolutions sans l'aide de matériaux optiquement actifs. Dans plusieurs de ces combinaisons moléculaires, le réseau est formé de deux sortes de molécules différentes. Il n'y a pas de liaisons chimiques entre les constituants de ces complexes. Dans le cas de certains de ces composés, un des constituants possède une structure lacunaire dont les espaces vides emprisonnent les molécules de l'autre. Pour être hébergée, une molécule doit pouvoir s'adapter exactement à la cavité libre, ce qui suppose certaines conditions de forme et de taille. La formation de ces combinaisons peut servir à séparer des substances distinctes, physiquement et chimiquement semblables mais de formes moléculaires différentes. En particulier on peut séparer des molécules droites et gauches. Si la cage se compose d'atomes dont la disposition n'est pas superposable à sa symétrique, les cavités différeront aussi de leurs symétriques et seront donc susceptibles de ne pouvoir héberger que l'une des formes d'une autre molécule, tout en rejetant son énantiomorphe. La cage peut être dissymétrique, soit lorsque le composé qui la forme est optiquement actif, soit lorsqu'il est inactif, soit racémique.

Un exemple de structure en cage constituée par des éléments optiquement actifs est celui des composés d'inclusion des cyclodextrines [16] où les molécules sont enveloppées dans un vaste système cyclique dérivé du glucose. Une résolution optique partielle de substances racémiques a pu être obtenue grâce à ces composés.

Les molécules d'une substance optiquement inactive en solution peuvent en cristallisant édifier des structures énantiomorphes, par exemple se disposer en spirales à droite ou à gauche. Les deux formes peuvent cristalliser, elles peuvent apparaître ensemble, mais l'ensemencement préférentiel peut provoquer la prédominance de l'une des formes dans le produit. Les combinaisons moléculaires de l'urée avec les molécules aliphatiques en fournissent des exemples. Les cages qui englobent les molécules sont, en première approximation, un ensemble de cylindres disposés comme des rayons de miel. Les parois des cylindres sont en réalité formés d'une spirale hexagonale de molécules d'urée. Bien que ces cylindres ne semblent pas différer sensiblement d'un cylindre uniforme, ces combinaisons moléculaires peuvent servir à séparer le chlorure d'octyle secondaire et d'autres corps en leurs formes énantiomorphes [17].

La structure cage peut se composer des molécules optiquement actives d'un corps employé à l'état de racémique. Un tel corps pourrait donner naissance à une structure cage non-énantiomorphe

composée de molécules *d* et *l* en nombre égal; dans ce cas, les cavités ne seraient pas dissymétriques ou bien elles se présenteraient, de même que les molécules les englobant, par couples symétriques. On ne pourrait s'attendre à ce que cette structure soit sélective pour la forme *d* ou *l* d'un composé emprisonné. Mais, au moment de la formation de la combinaison moléculaire cristallisée, il peut y avoir précipitation d'un amas de cristaux *d* et *l* mélangés. Si l'un des cristaux du produit ne contient que la forme *d* des molécules formant la cage, celle-ci est nécessairement un énantiomorphe. Les cavités seront les symétriques non-superposables de celles des cristaux *l* de l'autre partie du conglomérat. Le tri-*o*-thymotide représenté ci-dessous et ses combinaisons moléculaires illustrent ce cas [18].



Le tri-*o*-thymotide est lui-même optiquement actif et cristallise seul à l'état de racémique. Bien qu'il ait été résolu, il ne peut en fait que servir sous forme de mélange des formes *d* et *l*, car il se racémise très rapidement en solution, ayant à température ambiante une période de quelques minutes. On l'obtient à partir de différentes solutions sous forme de combinaisons moléculaires cristallines mêlées au solvant. Celles-ci ont des structures cristallines variées. Certaines sont des racémiques, mais d'autres sont des amas de cristaux *d* et *l*. Ces cristaux ne présentent pas de développement de facettes énantiomorphes apparent, mais des essais de diffraction aux rayons X peuvent révéler leur appartenance à des groupes de symétrie énantiomorphes. Dans l'une quelconque de ces cristaux ne se trouvent que des molécules de tri-*o*-thymotide d'une seule configuration. La racémisation ne se produit pas dans le cristal aux températures ordinaires. Dans la combinaison moléculaire cristallisée, les molécules de tri-*o*-thymotide sont disposées en spirale, un cristal énantiomorphe contenant des molécules d'une configuration disposée en spirale à droite, et son symétrique contenant les molécules de configuration opposée disposées en spirale à gauche. Des molécules optiquement inactives, telles que le benzène ou le *n*-hexane peuvent s'insérer dans ces cavités et en raison de leur symétrie s'adapter aussi bien à l'une ou l'autre structure.

C'est ainsi qu'on peut observer la résolution du tri-*o*-thymotide lui-même, par combinaison moléculaire avec le benzène. Un lent refroidissement amène une précipitation presque totale sous forme d'un ou plusieurs gros cristaux. L'un quelconque d'entre eux ne contient nécessairement que des molécules de tri-*o*-thymotide d'une configuration et se trouve donc résolu par un procédé qui est une forme simplifiée de la première méthode de Pasteur. En tout cas, dès que se forme un germe cristallin, il tend à produire d'autres germes de même configuration et l'on peut, soit spontanément, soit par ensemencement délibéré, obtenir une récolte où prédominent les cristaux d'une série sans qu'il soit nécessaire de faire grandir de gros cristaux isolés. Comme la période de racémisation est courte en comparaison du temps nécessaire à la croissance des cristaux, dans quelques expériences tout le tri-*o*-thymotide cristallisé appartient à la même série. La seule chose ajoutée au tri-*o*-thymotide originellement racémique est le benzène optiquement inactif.

Le caractère énantiomorphe de cavités dans des combinaisons moléculaires appropriées peut également servir à la séparation des mélanges racémiques. Il existe une série de combinaisons moléculaires, à cavités closes, de tri-*o*-thymotides formés uniquement avec des molécules dont les dimensions restent au-dessous de certaines dimensions critiques. Les dimensions de la molécule du bromure de butyle secondaire dissymétrique permettent son emprisonnement. Le produit du refroidissement progressif d'une solution de tri-*o*-thymotide dans le bromure de butyle secondaire racémique contient en général des quantités inégales de cristaux droits et gauches. Avec ou sans ensemencement, on peut l'obtenir avec prédominance de l'une des formes et la fraction de la récolte qui a la forme *d* ou *l* peut s'évaluer en comparant son activité optique avec celle d'un tri-*o*-thymotide intégralement résolu. Cela est possible parce que le pouvoir rotatoire initial de la solution de tri-*o*-thymotide est bien supérieur à celui du composé emprisonné. On trouve que le bromure de butyle secondaire récupéré est optiquement actif. La résolution optique a été obtenue sans l'aide d'une substance optiquement active sous forme résolue. On trouve que le degré de résolution du bromure de butyle est égal à celui de l'amas de cristaux inégal de tri-*o*-thymotide qui l'emprisonne. C'est à quoi il faudrait s'attendre si chaque cavité exclue intégralement

l'une des formes du bromure secondaire de butyle. Ce comportement n'est pas surprenant lorsque l'espace vide, de même que celui d'une chaussure, n'est pas superposable à son symétrique; tel le pied normal, la molécule emprisonnée remplit presque tout l'espace. Un pied gauche assez petit peut s'introduire dans un soulier droit, et l'on doit s'attendre à un comportement semblable de la part de certains composés susceptibles d'emprisonnement.

En ce qui concerne les composés dissymétriques ordinaires, les formes cristallines connues sont, soit des racémiques, soit des formes *d* et *l* en amas égaux ou inégaux, soit des cristaux variés, mélangés ou complexes, pseudo-racémiques et cristaux mixtes.

Une combinaison moléculaire cristallisée formée d'un réseau complexe peut résulter de l'association de partenaires, soit tous deux racémiques, soit l'un racémique, l'autre optiquement actif, soit tous deux optiquement actifs. Si les combinaisons sont stœchiométriques, les pouvoirs rotatoires des diverses formes auront entre elles une relation. Il y aurait comme cas particulier, celui d'une structure contenant les formes *d* et *l* du même corps en quantités fixes, mais inégales. On connaît des structures cristallines dans lesquelles des molécules de même constitution occupent dans la cellule élémentaire deux ou plus de deux positions géométriques différentes, formant ainsi un dessin complexe. Il pourrait y en avoir des nombres égaux mais fixes en des positions différentes, ou des nombres égaux en plusieurs positions différentes. Certaines de ces formes pourraient être optiquement actives puisque la composition de l'ensemble est de la forme $d_n l_m$, *n* et *m* étant des entiers. Si les formes *d* et *l* sont stables, le pouvoir rotatoire d'un tel corps sera constant. Un mélange *dl* pourra dans certaines circonstances se résoudre spontanément pour prendre les formes cristallisées $d_n l_m$ et $l_n d_m$ qui pourront être confondues avec *d* ou *l* en raison de leurs pouvoirs rotatoires constants et égaux, mais opposés.

Comme on l'a vu, les constituants englobés et englobants des composés d'inclusion peuvent avoir diverses formes optiques. Dans le cas limite, lorsque les cavités sont toutes remplies et sont strictement sélectives pour un seul énantiomorphe, il y aura un pouvoir rotatoire défini, en rapport avec la nature et les proportions des composants. Il devient facile d'établir les effets des espaces vides et de la diminution de sélectivité.

Il faut s'attendre à des effets spéciaux dans le cas où la cage est fermée mais assez grande pour contenir plus d'une molécule de taille appropriée. On a découvert des structures de cette sorte. Nous n'allons en considérer ici qu'un seul cas [19]. La cage a un centre de symétrie. Si elle se forme à partir d'une solution dans un solvant racémique nous devons nous attendre à trouver dans certaines cavités une molécule *d* enclose, dans d'autres une molécule *l*, ou si les molécules sont assez petites, une molécule *d* et une molécule *l* dans la même cavité. Ces formes seront optiquement inactives à condition que l'influence sur une autre d'une cavité et de son contenu, soit négligeable. Il y a ainsi un curieux effet à prévoir. Imaginons la formation à partir d'un solvant *d* d'une cage avec centre de symétrie. Les dimensions permettent à un *d* et un *l* de s'insérer. Mais une fois que la cavité contient une molécule *d*, l'espace restant n'a pas le sens convenable pour accueillir une deuxième molécule *d*, qui pourrait être exclue aussi rigoureusement que la forme non-adaptée du bromure de butyle secondaire dans les combinaisons moléculaires du tri-*o*-thymotide. Il faut donc s'attendre à ce que la combinaison moléculaire provenant du solvant *d* ou *l*, ne contienne que la moitié de la quantité de substance que l'on obtiendrait avec un solvant racémique.

BIBLIOGRAPHIE

[1] PASTEUR, L. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **26**, 535, 1848.
[2] LUCRETIUS. «De Rerum Natura», II, 485.
[3] PASTEUR, L. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **37**, 166, 1853.
[4] «Leçons de Chimie professées en 1860». Hachette, Paris. 1861.
[5] COTTON, A. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **120**, 989, 1895. KUHN, W. et KNOPF, E. *Z. phys. Chem.*, B, **7**, 292, 1930.
[6] KARAGUNIS, G. et DRIKOS, G. *Nature, Lond.*, **132**, 354, 1933.
[7] TSUCHIDA, R., KOBAYASHI, M. et NAKAMURA, A. *J. chem. Soc., Japan*, **56**, 1339, 1935.
[8] VELLUZ, L., AMIARD, G. et JOLY, R. *Bull. Soc. chim. Fr. Docum.*, **20**, 342, 1953.
[9] PASTEUR, L. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **58**, 1515, 1874.
[10] MILLS, W. H. *Rep. Brit. Ass.*, 37, 1932.
[11] HAVINGA, E. *Chem. Weekbl.*, **38**, No. 46, 1941.
[12] POPE, W. J. et PEACHEY, S. J. *Proc. chem. Soc. Lond.*, **12**, 42, 116, 1900.
[13] ANDERSON, L. et HILL, D. W. *J. chem. Soc.*, 993, 1928.
[14] DARMOIS, E. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **237**, 124, 1953.
[15] FERREIRA, R. C. *Nature, Lond.*, **171**, 155, 1952.
[16] CRAMER, F. *Angew. Chem.*, **64**, 136, 1952.
[17] SCHLENK, W. *Experientia*, **8**, 337, 1952.
[18] POWELL, H. M. *Nature, Lond.* **170**, 155, 1952.
[19] BAKER, W. et MCOMIE, J. F. W. *Chem. and Ind. (Rev.)*, 256, 1955.
POWELL, H. M. et WETTERS, B. D. P. *Ibid.*, 256, 1955.

La mécanique et les mécanismes en Islam médiéval

par H. J. J. WINTER

On sait que le calife Hārūn al-Rashīd fit don à Charlemagne d'une clepsydre, et que les Arabes et les Persans excellaient dans les travaux de ce genre; mais on n'a pas encore réussi à se rendre compte de l'état des sciences mécaniques, dans leur ensemble, en Islam médiéval. L'héritage théorique et pratique des Grecs y tient une place importante: on en retrouve les traces depuis le palais de l'Alhambra jusqu'aux mosquées de Samarcande. Ce qui appartient en propre au génie islamique n'est cependant pas négligeable.

Euclide, Archimède, Apollonius, Héron et Philon étaient les plus admirés des auteurs grecs dont les ouvrages sur la mécanique furent traduits en langues arabe et syriaque au cours de la période d'«assimilation» (c. 750–900). La «Mécanique» d'Héron d'Alexandrie, traduite vers 860 par le nestorien Qusta bin Lūqā de Baalbek, pour le calife Al-Musta'īn, et la «Pneumatique» de Philon de Byzance, dont on ne connaît pas le traducteur, ont inspiré de nouveaux ouvrages et un grand nombre d'inventions pratiques. C'est ainsi que les trois Banū Mūsā, fils de Mūsā ibn Shākir, ami du calife Al-Ma'mūn, écrivirent «Le Livre des Instruments» (*Kitab al-hiyal*) [1]. Ils y décrivent une centaine d'appareils dont la plupart sont des nouveautés inspirées de Philon et qu'on pourrait appeler des jouets mécaniques. Certains autres toutefois, réalisés d'après les idées d'Héron, sont remarquables au point de vue pratique. Au cours de la période suivante (c. 900–1100) du moyen âge islamique, le goût des sciences se répand; ce qui donne lieu à de nouveaux progrès, notamment dans l'application de systèmes mécaniques simples tels que leviers, roues et arbres, poulies, plans inclinés, roues dentées, vis sans fin, siphons et pompes, ainsi que la roue hydraulique et le moulin à vent.

Ce qu'on a appelé l'âge d'or de la science islamique doit sa renommée dans une grande mesure à l'apport de la Perse, dont la langue, à l'aube du xe siècle, revêt une importance nouvelle à mesure que se fait jour le génie créateur de ses savants. Ibn Sīnā (980–1037), Abū Raihān Al-Bīrūnī (973–1048) et 'Umar Khayyām (m. *c.* 1123) sont de ceux qui ont illustré cette langue imagée, bien que pour leurs travaux scientifiques ils se soient servis de l'arabe, qui convient mieux aux sèches argumentations déductives. Nous sommes par ailleurs redevables à la langue arabe d'avoir été le dépositaire de la science des anciens grecs.

Dans le domaine de la mécanique, Ibn Sīnā est connu surtout pour ses postulats théoriques, car le sujet représentait à ses yeux le dernier échelon d'un vaste système de philosophie spéculative. Ces postulats sont pourtant fort ingénieux et parfois vrais. Dans le *Al-kitāb al-najāt* il dit: «aucun corps ne se met en mouvement ni ne s'arrête de lui-même», ce qui énonce clairement le principe de l'inertie; «la conception du temps est inséparable de celle du mouvement», et «une force n'est mesurable qu'en fonction de ses effets». A propos d'un mécanisme simple: «un gain de puissance correspond à une perte de vitesse». Selon Ibn Sīnā, les problèmes de la statique sont les mêmes que ceux de la dynamique, et il en déduit l'explication de l'impact entre deux corps en considérant des forces dynamiques agissant à partir de l'intérieur des corps. Mais ses théories en mécanique, comme celles de ses prédécesseurs Aristote et Al-Kindī, sont viciées du fait qu'elles reposent sur la notion de vélocité uniforme. Le temps pour lui était continu et s'exprimait en fonction de la «quantité de mouvement circulaire» de la sphère céleste. Ces postulats fondamentaux le détournèrent des notions d'accélération ou de force centrifuge, lesquelles ont cependant donné toute sa valeur à la mécanique de Newton et fourni les bases de la science moderne, en provoquant le rejet du postulat erroné de l'existence d'une force motrice ou «premier mobile» à l'origine de la vélocité uniforme d'un corps dans la direction ou s'exerce cette force. Malgré la faiblesse de ses postulats Ibn Sīnā a obtenu des résultats satisfaisants dans le domaine pratique immédiat; on lui prête même l'invention d'une sorte de jauge micrométrique ou vernier.

Al-Bīrūnī, profond érudit et voyageur averti, est connu surtout pour sa détermination précise

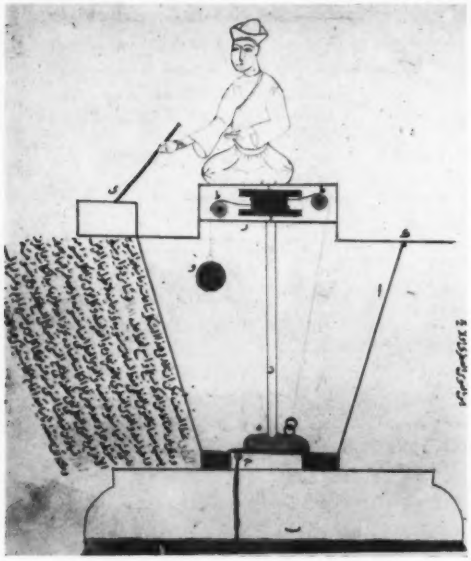


FIGURE 1 – *Clepsydre, d'après le traité d'Al-Jazarī. MS. Graves N° 27 (Dû à l'amabilité du bibliothécaire de la Bodleian Library, Oxford.)*

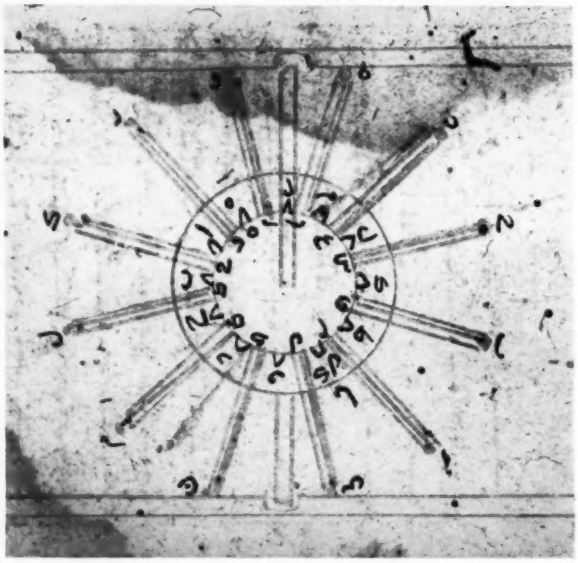


FIGURE 2 – *Schéma d'une roue hydraulique persane. (Tiré du MS. arabe N° 351 de la Bibliothèque Rylands (Manchester), avec l'aimable autorisation du bibliothécaire.)*

du poids spécifique de 18 pierres précieuses et autres minéraux. Après étude des résultats obtenus il en dressa une table systématique. Il convient de signaler qu'on ne trouve aucune table de ce genre en Europe Occidentale avant les XVIIe et XVIIIe siècles, et même alors le poids spécifique que Boyle trouva pour le mercure, par exemple, est moins précis que celui des Arabes. Al-Bīrūnī se servait d'un «instrument conique», sorte de ballon dont le goulot était muni d'un bec latéral, pour obtenir le volume des métaux par déplacement.

La vogue de l'œuvre poétique d''Umar Khayyām a fait oublier qu'il est l'auteur du plus beau traité d'algèbre qui ait paru au moyen âge, et que son nom figure dans l'histoire de la balance après ceux d'Archimède, de Ménélaüs et de Rāzi. L'étude de la balance étant au moyen âge islamique une science spéciale, de même que celle de l'arc-en-ciel, nous en reparlerons dans notre exposé de l'œuvre d'Al-Khāzinī.

Le philosophe Abū Nasr al-Fārābī [2] composa un essai intéressant sur le vide. Un manuscrit de l'ouvrage, dont on avait perdu la trace, vient d'être retrouvé à l'université d'Ankara et fait maintenant partie de la collection Ismael Sāip (Série I, No. 183 (II)). L'auteur nie l'existence du vide et sa thèse s'appuie seulement sur deux expériences faites avec des ballons contenant de l'eau et de l'air, lesquelles, en effet lui donnent raison. Le trait saillant de l'essai en question est toutefois une étude des résultats d'expériences basées sur l'élasticité de l'air.

Il y eut par la suite deux traités de mécanique sortant de l'ordinaire: le *Al-Kitāb fī ma'arifat al-hiyal al-handasīya* (Le livre de la connaissance d'ingénieux dispositifs géométriques (mécaniques)) [3], par Abū'l-'Izz Isma'īl ibn ur-Razzaz al-Jazarī Badī'az-Zamān, et l'*Al-Kitāb mīzān al-hikma* (Le livre de la balance de la sagesse) [4], par Al-Khāzinī de Merv. Le premier est de beaucoup le moins original, mais on y trouve en résumé les divers types d'appareils en usage à son époque, car l'auteur était surtout un ouvrier, et sa technique ayant profité de l'expérience de ses prédécesseurs musulmans dépasse celle d'Héron et de Philon. Al-Khāzinī avait été au service des Urtuqides, sultans d'Amida, depuis 1181 ou 1182 et c'est pour l'un d'eux, Mahmūd, qu'il acheva son livre en 1206. Celui-ci fut très prisé de trois autres sultans de la même dynastie et fut plus tard traduit en persan et en turc. Il y est question principalement de clepsydres compliquées et d'appareils hydrauliques servant à faire monter l'eau. Il s'y révèle une connaissance profonde des roues à aubes et à dents et des arbres de transmission. La clepsydre typique se compose d'un vase en cuivre, plein au début, le flotteur étant à la surface de l'eau et le poids au fond. A mesure que le vase se vide le flotteur descend et le poids monte, faisant tourner un tambour central. La baguette

que tient la statuette représentant un scribe passe sur un couvercle gradué, indiquant les heures qui s'écoulent (figure 1).

En 1860 parurent dans le Journal de la Société des Orientalistes Américains des versions anglaises de deux ouvrages remarquables: le *Sūrya-Siddhānta* des Indous, traduit par Ebenezer Burgess, et le livre d'Al-Khāzinī mentionné plus haut, par N. Khanikoff, Consul-Général russe à Tabriz. Le «Livre de la balance de la sagesse» est un des grands traités de mécanique. Le sujet principal en est l'art de peser avec précision et la détermination des poids spécifiques; mais il y est aussi question de gravitation, de flottation et de géodésie. Composé à la demande de Abū-l-Hārith Sanjar ibn Mālikshāh ibn Alpārslān, en 1121–22 «pour son haut trésor», l'ouvrage traite tout spécialement du poids spécifique des monnaies d'alliage, et de la graduation *ad hoc* du fléau de la balance. Il parle aussi de la solution que trouva Archimède pour le problème de la couronne d'Hiéron. Les savants arabes avaient étudié la question sous tous ses aspects, témoin le passage suivant du Livre de la balance de la sagesse: « . . . des nouveautés et d'ingénieuses applications de la balance, telles que la balance à peser les dirhams et les dīnārs sans l'aide de contrepoids; celle qui sert à niveler la terre au plan de l'horizon; la balance «équilibrée» qui pèse depuis un grain jusqu'à mille dirhams ou dīnārs, avec trois graines de grenade pour contrepoids, et enfin la balance «horaire» qui indique l'écoulement des heures du jour et de la nuit et leurs subdivisions en minutes et en secondes, et en outre les correspondances exactes de l'astre ascendant en degrés et fractions de degré». La balance horaire se composait essentiellement d'un long levier dont un bras portait un récipient rempli d'eau qui se vidait en 24 heures. L'autre bras était gradué et portait un curseur-contrepoids. Les graduations étaient d'habitude des incrustations d'argent disposées à intervalles appropriés, et les unités à chaque division étaient celles qui convenaient à la fonction particulière de la balance: unités de temps, de poids spécifiques, etc. Dans leurs travaux d'arpentage et de construction les Arabes savaient parfaitement utiliser le parallélisme qui existe entre le fléau d'une balance en équilibre et le plan de l'horizon.

Une autre citation d'Al-Khāzinī fera ressortir le soin extrême qu'on apportait à la détermination des poids spécifiques: «Nous avons fait, écrit-il, toutes nos comparaisons en un seul lieu, à savoir, Jurjānīyah, ville du Khuwārazm, situé à l'endroit où le fleuve du pays de Balkh s'approfondit et se jette dans la petite mer du Khuwārazm. L'eau de ce fleuve est bien connue, et de qualité sûre. Toutes nos opérations ont eu lieu au début de l'automne».[1] Al-Khāzinī savait donc qu'il fallait autant que possible éviter les impuretés et les variations de température. A ses yeux la balance était, au même titre que l'astrolabe, un instrument de précision dont la construction et l'entretien exigeaient le plus grand soin, car une bonne balance devait être sensible à un seul mithqāl. Selon lui, le fléau devait mesurer 4 coudées communes (2 mètres), «la sensibilité de l'instrument étant fonction de la longueur du fléau», et l'index une coudée. C'est probablement Muhammad ibn Zakarīya de Rāzi qui le premier imagina le cadran gradué et l'index. A l'époque d'Al-Khāzinī la balance était pourvue de cinq bassins hémisphériques en bronze mince, dont deux étaient permanents, deux additionnels et un glissait le long d'un des bras du fléau. Ils devaient convenir à toutes les diverses pesées, y compris celles faites dans les liquides. L'utilisation commerciale des balances comprenait surtout la détermination des poids spécifiques d'alliages et de joyaux. Le tableau qui suit montre, en mesures modernes, les résultats obtenus par Al-Khāzinī. A première vue, et sans examen critique de leur précision, on constate qu'ils se rapprochent singulièrement des valeurs acceptées aujourd'hui:

Or ..	.. 19,05 (fondu)	Perle fine	.. 2,60
		Ivoire ..	.. 1,64
Mercure	.. 13,56	Eau douce	.. 1
Laiton ..	.. 8,57	Eau bouillante	0,958
Emeraude	.. 2,75	Huile d'olive	.. 0,920

Al-Khāzinī connaissait également un modèle précis de l'aréomètre de Pappus. Il s'agit d'un tube en cuivre dont l'un des bouts est alourdi par un cône creux, en étain, et dont les deux extrémités «ressemblent à des peaux de tambour minces». Le tube flottait verticalement dans les liquides et portait des graduations indiquant le poids spécifique et le volume déplacé. Al-Khāzinī se livra à l'instructive fantaisie de calculer le poids de la Terre au cas où elle serait tout en or. C'est un passage du Coran (III, 85) qui lui en donna l'idée: «En vérité il ne sera accepté aucune rançon — serait-ce une quantité d'or capable de remplir la terre entière — de ceux qui auront vécu et qui

[1] Khanikoff identifie l'endroit avec l'emplacement de Kuna-Urghenj. Il paraît que dès le XIIe siècle de notre ère l'Oxus se jetait dans la Mer d'Aral et non dans la Caspienne.

seront morts dans l'incroyance; pour eux, les châtiments sévères, et point de défenseur.»

Quelques mots, pour finir, au sujet des théories d'Al-Khāzinī sur la gravitation. Bien qu'il ait conservé la tradition d'Archimède, d'Euclide, de Ménélaüs, d'Ibn Al-Haitham et d'Abū Sahl al-Kūhī, ses idées sont très avancées pour son temps, et en dépit des erreurs qu'elles contiennent il faut rendre hommage à l'intelligence de celui qui les a conçues. Il dit notamment: «le poids est la force qui attire un corps lourd vers le centre du monde», et «on appelle corps lourd celui qu'une force inhérente attire vers le centre du monde» (Conférence I, Chap. I, Sect. I); ou encore: «le point d'un corps lourd qui coïncide avec le centre du monde quand le corps est à l'état de repos à ce centre, s'appelle le centre de gravité du dit corps» (Conférence I, Chap. I, Sect. 4). Il lui reste toutefois quelque chose de la conception aristotélicienne du mouvement: «Les corps de gravité identique sont ceux qui, étant en mouvement dans un liquide, se meuvent de façon identique; c'est-à-dire, prennent le même temps pour parcourir des espaces identiques» (Conférence I, Chap. I, Sect. 4). Plus loin: «Le poids d'un corps lourd, de poids connu à une distance donnée du centre du monde, varie avec sa distance à partir du dit centre; de sorte que, éloigné du centre il devient plus lourd; rapproché, il devient plus léger» (Conférence I, Chap. V, Sect. 3). Ces deux citations nous rappellent que nous n'avons pas encore atteint le domaine de la science moderne. La dernière surtout indique qu'Al-Khāzinī pense à la théorie selon laquelle à mesure que l'atmosphère se raréfie la poussée de l'air déplacé diminue. En somme il admet que l'air a du poids, sans toutefois en faire la démonstration expérimentale.

Les Arabes exploitèrent largement les sources naturelles de puissance. Là où le climat et la configuration naturelle du pays le permettaient, ils construisirent des moulins à eau et à vent [5]. Ainsi, selon Mustaufī, «à dix milles au nord de cette ville (Nishapur) s'élève une montagne qui donne naissance à une rivière, laquelle fait tourner plusieurs moulins à grande vitesse». Marrākeshī d'autre part dit que «dans la ville (Marrakesh) et même sous ses murs, il y a environ 300 moulins à eau». Dans la plaine du Sejistan (Afghanistan) où souffle un vent constant, charriant des nuages de sable, on se rendait compte des énormes puissances de la nature et on les utilisait. Al-Mas'ūdī (vers 947) [6] fait l'éloge du moulin à vent, comme plus tard Al-Istakhrī. Au XIIIe siècle Al-Dimashqī en donne une description complète: «Les habitants se servent du vent pour faire tourner leurs moulins et transporter du sable. Sur une construction haute comme un minaret, ou sur une crête de montagne ou autre point saillant, ou encore sur une tour de château, ils élèvent un bâtiment. Dans celui-ci se trouve le moulin proprement dit et au-dessous une roue dentée actionnée par la force du vent. Cette roue en tournant entraîne le moulin au-dessus. Ainsi donc, si le vent souffle, chaque moulin tourne». Les moulins servaient aussi à puiser l'eau des puits pour arroser les jardins. Vitruve (Livre X, chap. 10) parle des moulins à eau, qui furent peut-être inventés à l'époque d'Auguste; mais il est probable que le moulin à vent a une origine islamique moins ancienne; Al-Mas'ūdī en parle comme étant devenu d'usage courant à l'Afghanistan aussitôt que la force et la continuité des vents en avaient fait concevoir l'idée. Il se peut que le moulin ait été connu en Arabie dès la première moitié du VIIe siècle de notre ère.

RÉFÉRENCES

[1] HAUSER, F. «Das Kitāb al-hiyal». *Abh. Gesch. Naturw. Med.*, 1922.

[2] LUGAL, N. et SAYILI, A. Mémoire de Farabi sur le vide. Ankara. 1951.

[3] COOMARASWAMY, A. C. Traité d'Al-Jazari sur les automates, Boston. 1924.

[4] KHANIKOFF, N. *J. Amer. Orient. Soc.*, **6**, I, 1860.

[5] WIEDEMANN, E. «Zur Mechanik, u. Technik bei den Arabern», *S.B. Phys.-med. Soz. Erlangen*, **38**, I, 1906.

Idem. Ibid., **38**, 307, 1906.

[6] DE MEYNARD, BARBIER C. et DE COURTEILLE, PAVET. «Les Prairies d'Or», II, 80. (Société Asiatique, 9 vols.), Paris. 1861–77.

La vitamine B_{12}

par A. W. JOHNSON et SIR ALEXANDER TODD

L'histoire de la vitamine B_{12} commence en 1926, année où l'on a reconnu la valeur thérapeutique du foie dans le traitement de l'anémie pernicieuse: on en retrouvera ici les grandes phases, jusqu'à la publication de sa structure, en 1955. Cette structure suggère fortement une relation entre la vitamine et l'hème, la chlorophylle, et d'autres dérivés naturels de la porphine.

En 1926, dans une publication très importante, Minot et Murphy rapportent que le foie entier est efficace pour combattre l'anémie pernicieuse [1]. Depuis cette époque, nombre de chimistes et de biochimistes ont essayé d'isoler le principe actif par un fractionnement chimique, mais ce n'est qu'en 1948 que le facteur anti-anémie-pernicieuse (APA), appelé maintenant vitamine B_{12}, a été isolé indépendamment, et presque simultanément en Amérique [6], et en Angleterre [3, 5]. Les premiers travaux avaient permis de mettre sur le marché plusieurs préparations commerciales de concentré de foie. On en trouvera un résumé dans une publication [2] qui souligne la diversité des opinions consécutives sur la nature du facteur anti-anémie-pernicieuse: au cours de la période en cause, qui prend fin en 1945, la quantité quotidienne à donner à un malade est tombée de 400 g à moins de 1 mg, au fur et à mesure que les concentrés s'amélioraient, et les auteurs affirment qu'on peut désormais songer raisonnablement à l'isolement et à l'identification du principe actif. Beaucoup des premiers chercheurs pensaient qu'il s'agissait d'une protéine, ou d'un polypeptide; plus tard, on a pensé que c'était un composé du groupe des ptérines, dont on avait trouvé des représentants dans les ailes de divers insectes. La découverte des vitamines du groupe de l'acide folique venait, semblait-il, à l'appui de cette hypothèse. Cependant, on prépara en définitive des concentrés de foie efficaces à dose plus faible que l'acide folique pur dans le traitement des types d'anémie où celui-ci est efficace.

S'il a fallu si longtemps pour isoler finalement le principe actif, c'est probablement faute d'un dosage biologique rapide et sûr; aucun essai sur des animaux n'a donné de résultats parallèles aux études cliniques sur l'homme. En fait, pour leur isolement définitif, les chercheurs anglais [3] ont utilisé presque exclusivement des essais cliniques pour doser leurs extraits. Cependant, le groupe américain avait tiré profit d'une observation importante [4]: le principe anti-anémie-pernicieuse du foie est également un facteur de croissance très actif pour l'organisme *Lactobacillus lactis* Dorner, qu'ils purent utiliser pour un dosage microbiologique. C'est ce type de dosage que l'on emploie presque exclusivement maintenant, mais on recommande d'autres organismes tels, entre autres, *L. leichmannii* 4797 ou 313. La vitamine, isolée finalement sous forme de cristaux rouge foncé, permet, dans les essais cliniques, de combattre l'anémie pernicieuse à la dose journalière de 0,5–5 microgrammes. La vitamine B_{12} est donc l'un des plus puissants de tous les composés physiologiquement actifs. Comme dans le cas d'autres vitamines, on a rapidement découvert qu'en plus de la vitamine B_{12} extraite du foie, il existait un certain nombre de composés très voisins, d'activités variables. En fait, on doit considérer la vitamine B_{12} comme étant de caractère multiple. Comme l'isolement à partir du foie était difficile, on s'est tourné vers d'autres sources, et le groupe des laboratoires Merck [7] a bientôt annoncé qu'on pouvait l'isoler à partir de bouillons de culture de *Streptomyces griseus*, souche utilisée à la production de la streptomycine. Des études ultérieures ont révélé la présence de composés du type B_{12} comme produits secondaires dans les eaux résiduelles de fermentations provenant de la fabrication d'un certain nombre d'antibiotiques, tels que la néomycine et la chloromycétine; aujourd'hui cependant, on fait plutôt appel à une fermentation particulière pour la production de la vitamine; on a recommandé *Bacillus megatherium* et *S. olivaceus* dans ce but. La vitamine semble avoir normalement une origine microbiologique: par exemple, on en a découvert des quantités appréciables, à côté de composés voisins, dans les boues des égouts. On a effectivement envisagé l'utilisation industrielle de cette dernière source, mais la séparation des isomères voisins pourrait bien être dispendieuse

et longue. Les algues sont également riches en vitamine, mais là encore, on a montré que son origine était microbienne, et que l'algue ne faisait que la concentrer. Pour extraire la vitamine de ces sources diverses, où sa concentration est extrêmement basse, il faut un grand nombre d'étapes: extractions par solvants, adsorptions et chromatographies. L'emploi fréquent de solvants comme le phénol ou l'alcool benzylique est une caractéristique remarquable des méthodes d'isolement à grande échelle.

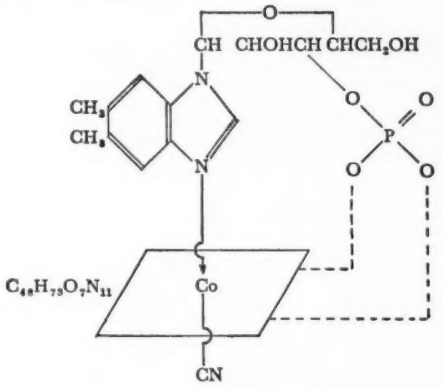
On a fait beaucoup de recherches pour déterminer la fonction biologique de la vitamine B_{12}, et malgré les grandes lacunes qui subsistent, on voit plusieurs problèmes biochimiques apparemment indépendants converger autour de ce nouveau membre du groupe B. Un de ces problèmes concerne ce que l'on a appelé le principe protéinique animal. Depuis assez longtemps on savait que les protéines animales contiennent un facteur de croissance absent des protéines végétales. Le problème a repris de l'actualité, lors de la dernière guerre, lorsque, faute de protéines animales en quantité suffisante, on a augmenté la proportion de farine de soya dans les produits pour l'alimentation des volailles. On a mis en évidence le principe inconnu dans le fumier de vache, ainsi que dans les crottes de volailles, après incubation, mais pas avant, ce qui suggère la participation de microorganismes à l'élaboration du facteur de croissance. Ce sont des chercheurs américains des Laboratoires Lederle [8] qui ont montré les premiers que le principe anti-anémie-pernicieuse du foie était le constituant principal du principe protéinique animal, en préparant des extraits de culture de bactéries des excréments de poule doués des deux types d'activité biologique. C'est en 1948 que l'on a signalé pour la première fois l'effet favorable sur la croissance des rats et des poussins de la vitamine B_{12} cristallisée, mais depuis, on a montré qu'il en fallait moins en présence de certains antibiotiques, tels que l'auréomycine et la pénicilline. On utilise aujourd'hui sur une grande échelle des préparations concentrées de vitamine B_{12} comme additifs à la pâture des porcs et de la volaille, à raison de quelques milligrammes de vitamine seulement par tonne de produit. Bien qu'il faille accueillir avec réserve bon nombre de prétentions ambitieuses relatives à certaines applications thérapeutiques, on doit reconnaître que tous les premiers succès dans le traitement de l'anémie pernicieuse ont été totalement confirmés. Une conséquence intéressante de l'un des aspects de ce travail a été la mise en lumière des relations entre la vitamine B_{12} et les principes anti-anémiques de Castle [9]. Celui-ci a mis en évidence dans certains aliments un composé thermostable, le «principe extrinsèque», capable d'agir contre l'anémie pernicieuse chez des malades, seulement lorsqu'on l'administre en même temps que du suc gastrique normal; ce dernier contenait le «principe intrinsèque». On sait maintenant que le principe extrinsèque est identique à la vitamine B_{12}, et que le principe intrinsèque est une protéine, qui aurait été récemment hautement concentrée [10]. On n'a pas encore mis en évidence de réaction chimique entre la vitamine B_{12} et le principe intrinsèque, et celui-ci ne semble pas identique à l'une des protéines capables de lier la vitamine B_{12}, qui ont également été purifiées. En plus de ses activités anti-anémie-pernicieuse et nutritives, la vitamine B_{12} joue un rôle important dans la réduction des groupes disulfure, et dans la biosynthèse de méthyles labiles, par exemple dans la biosynthèse de la méthionine à partir de l'homocystine, ou de la choline à partir du glycocolle, bien que probablement elle ne participe pas directement aux trans-méthylations.

La vitamine B_{12} cristallise à partir de l'acétone aqueuse, ou de l'eau chaude, en beaux cristaux hydratés rouge sombre, ayant la formule brute $C_{63}H_{90}O_{14}N_{14}PCo$. La présence d'un atome de cobalt est une caractéristique unique en son genre, et les mesures magnétiques indiquent que le cobalt y est à l'état trivalent. Les membres du groupe B_{12} sont à ce jour les seuls composés organiques naturels connus qui contiennent du cobalt. La vitamine isolée est une base faible, et son spectre d'absorption caractéristique dans l'ultra-violet et le visible ne change pas beaucoup avec le *p*H. Très peu de temps après l'isolement de la vitamine B_{12}, on s'est rendu compte qu'il y avait un certain nombre de composés voisins, d'activités biologiques comparables, dont les rapports mutuels se sont éclaircis lorsqu'on a reconnu que la vitamine B_{12} contenait un groupement cyanure directement attaché à l'atome de cobalt. On l'a mis en évidence à la fois par des procédés physiques et chimiques, et on peut le remplacer sans difficulté par un certain nombre de groupements. Ainsi la substitution du cyanure par un hydroxyle donne la vitamine B_{12a} (ou B_{12b}), et la substitution par l'anion nitrite, la vitamine B_{12c}. On peut revenir de ces composés à la vitamine B_{12} en traitant par l'ion cyanure. Pour simplifier la nomenclature, la vitamine B_{12} s'appelle maintenant officiellement cyano-cobalamine; B_{12a} est l'hydroxycobalamine; B_{12c} est la nitritocobalamine; et l'on a décrit

plusieurs autres membres du groupe. Leur comportement chromatographique et leur coefficient de partage dans divers mélanges solvants permettent de les distinguer.

L'hydrolyse acide donne quelques renseignements supplémentaires sur la structure chimique de la vitamine. A cette étape, on a travaillé sur des quantités très petites de substance, et on a fait très largement appel à la chromatographie sur papier pour l'examen de micro-quantités de produits de réaction. En chauffant la vitamine plusieurs heures avec de l'acide chlorhydrique concentré à 150°, on obtient de l'ammoniac (cinq à six molécules par molécule de vitamine), de l'acide phosphorique, une résine rouge contenant du cobalt, et enfin deux produits mis en évidence par chromatographie sur papier. Le premier était une base, donnant une coloration bleue avec la ninhydrine, et identifiée ultérieurement comme le Dg-1-amino-2-propanol (une molécule par molécule de vitamine). L'autre composé, également basique, a été repéré grâce à sa fluorescence en lumière ultra-violette. C'était le 5-6-diméthylbenziminazole. Une hydrolyse moins poussée a donné deux 5-6-diméthylbenziminazoles substitués à l'azote, appelés respectivement composés α et β. Une hydrolyse consécutive du composé α l'a transformé d'abord en composé β puis en 5–6 diméthylbenziminazole proprement dit. Ces trois produits de dégradation ont été isolés, leur structure déterminée et confirmée par synthèse. Le composé β est le N-α-D-ribofuranoside du 5-6-diméthylbenziminazole, et le composé α est le 3′-phosphate correspondant, si bien qu'on peut considérer les composés α et β comme les analogues dans la série du benziminazole des nucléotides et nucléosides puriques. Il est toutefois intéressant de remarquer que ces glycosides du benziminazole ont la configuration α alors que les glycosides puriques naturels ont uniformément la configuration β.

Lorsqu'on ajoute un excès de cyanure à la vitamine B_{12}, il se forme un complexe violet qui contient deux groupements cyanure, et un examen attentif du spectre d'absorption ultra-violette de ce composé suggère que dans la vitamine de départ, le second atome d'azote du cycle benziminazole est lié à l'atome de cobalt par une coordinance. Tous ces résultats ont été obtenus par Folkers et ses collaborateurs aux laboratoires de Merck et Compagnie Inc., par Todd, Johnson et leurs collaborateurs, à Cambridge; Petrow et son groupe (British Drug Houses Limited); et Holiday (Service de Spectroscopie du Medical Research Council). Ils ont conduit à la structure partielle (1) pour la vitamine.



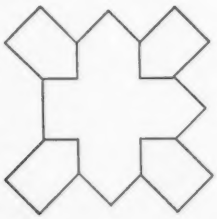
I

En cherchant d'autres sources microbiologiques de vitamine B_{12}, on a découvert un deuxième groupe de composés voisins, isolés à partir de résidus de fermentation, de boues d'égouts, etc., qui diffèrent de la vitamine B_{12} en ce qu'ils ne contiennent pas le 5:6-diméthylbenziminazole comme constituant basique du nucléotide. On a décrit des membres naturels du groupe B_{12} où le 5:6-diméthylbenziminazole est remplacé par l'adénine, la 2-méthyladénine, et la 2-méthylhypoxanthine, et l'on a introduit d'autres bases dans la molécule par synthèse microbiologique en présence de précurseurs appropriés. En général, ces composés sont doués d'une activité faible chez l'animal, et sont des facteurs de croissance d'activité variable pour les microorganismes. Tous ces composés ont en commun la partie de la molécule qui reste lorsqu'on enlève le nucléotide, et que l'on a appelé le principe B, et d'ailleurs, on a isolé le principe B lui-même de bains de fermentation et de fumier de veau, aussi bien que des produits d'hydrolyse rapide de la vitamine B_{12} aux acides chauds.

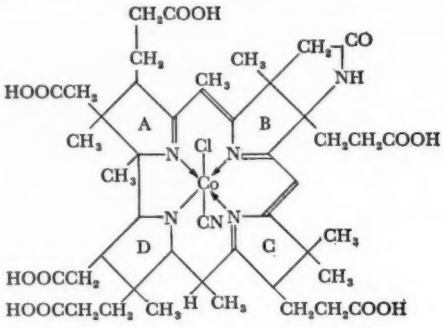
On sait maintenant que l'ammoniac libéré au cours de l'hydrolyse provient d'amides primaires et des preuves chimiques permettent de conclure à l'existence d'au moins quatre et probablement six groupements amide primaire dans la vitamine B_{12}. En plus, l'aminopropanol est lié de façon amidique par l'atome d'azote, si bien qu'il y a sept carboxyles potentiels dans la partie centrale, contenant du cobalt, de la molécule. En fait, le produit résineux rouge obtenu par hydrolyse de la vitamine est un mélange d'acides dont on n'a pu reconnaître la complexité qu'au moyen de la technique d'électrophorèse sur papier [11]. On a reconnu alors la

présence de deux séries d'acides; chez l'une, le nucléotide manque et il y a de un à sept carboxyles; elle dérive donc du principe B; les acides de l'autre série ont encore le nucléotide, et de un à six carboxyles. Le grand nombre d'isomères possibles était une autre source de complications; on a isolé, par exemple, trois acides monocarboxyliques contenant le nucléotide combiné. Ceux-ci, comme d'ailleurs un certain nombre d'acides di- et tricarboxyliques de cette série également isolés, pouvaient être reconvertis en vitamine B_{12} en repassant des acides aux amides par des méthodes classiques. Pour les recherches de structure, il était cependant nécessaire de préparer, à l'état pur cristallisé, un des acides dépourvu du nucléotide. On a choisi pour cela le mélange d'acides penta- et hexacarboxyliques obtenu par hydrolyse de la vitamine avec la soude aqueuse à 30% à 150°. On est arrivé à séparer ces acides sur une échelle relativement grande par chromatographie sur échangeur d'anion, et finalement on a pu faire cristalliser un acide hexacarboxylique pur, isolé à l'état de monochlorure-monocyanure [12]. C'était le premier produit de dégradation cristallisé, ne contenant pas le nucléotide combiné, qu'on ait pu préparer à partir de la vitamine B_{12}. Sa formule brute est: $C_{46}H_{60}O_{13}N_6COCl.2H_2O$, et le spectre dans le visible est très voisin de celui de la vitamine, ce qui indique que le chromophore n'a pas subi de transformation profonde. On a donné l'acide cristallisé à Mrs. Hodgkin, à Oxford, et avec ses collaborateurs, elle a pu bâtir le modèle général du noyau (II) qui entoure l'atome de cobalt [13]. Ce modèle s'est trouvé identique à celui que Mrs. Hodgkin avait trouvé dans la molécule de vitamine B_{12}. La confirmation de la structure de ce nouveau système macrocyclique était bienvenue: elle rappelle un peu celle des porphyrines naturelles mais la différence frappante c'est que deux des quatre cycles sont accolés directement au lieu d'être réunis par un atome de carbone.

Peu après, une brillante analyse aux rayons X permettait de fixer la position relative de tous les atomes, à l'exception des hydrogènes, et en tenant



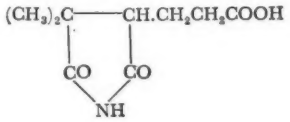
II



III

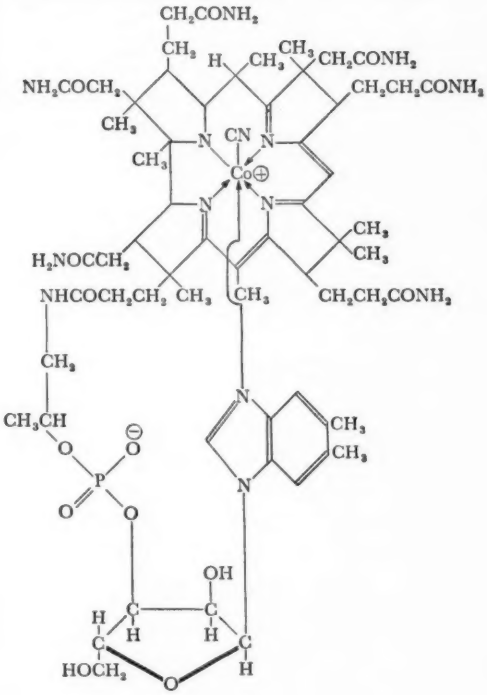
compte des propriétés chimiques connues du composé, on pouvait poser la structure III [14]. Sur les six groupements acides, quatre sont des restes propioniques, et les deux autres des restes acétiques, tous attachés en position β aux cycles à cinq éléments. On a considéré que le cycle à cinq éléments accolé au cycle B du noyau central était un cycle de lactames, à cause de sa stabilité vis-à-vis des alcalis. On a considéré que les huit chaînes latérales monoatomiques étaient des méthyles pour qu'il y ait accord avec l'analyse chimique, en admettant qu'une partie de l'oxygène contenue dans le produit cristallisé était de l'eau de cristallisation, d'ailleurs trouvée dans la structure cristalline. La disposition des doubles liaisons, déduite d'expériences chimiques et d'études aux rayons X peut être légèrement modifiée. Une preuve chimique indépendante vient à l'appui de la structure du cycle C représentée en (III). Le groupe de chercheurs de Merck a isolé la succinimide (IV) par oxydation d'un hydrolysat brut de la vitamine B_{12} [15]; plus tard, on a confirmé à Cambridge que l'on pouvait obtenir le même produit à partir de l'acide hexacarboxylique pur. Une fois la structure III établie, l'interprétation des diagrammes de densité électronique pour les cristaux de la vitamine B_{12} elle-même est devenue plus facile. Ces diagrammes ont montré qu'il n'y avait pas de cycle de lactames à cinq éléments accolé au cycle B, mais qu'à la place, ce cycle portait sur une position β un méthyle et un résidu acétamide, et sur l'autre un résidu propionamide. De plus, les restes cyanure dans la vitamine et dans l'acide hexacarboxylique sont disposés sur deux côtés opposés de l'atome de cobalt. L'aminopropanol est rattaché à la chaîne latérale propionique du cycle D, et le phosphate n'est substitué que par le nucléoside et par l'aminopropanol, ce que l'on avait déjà déduit de la stabilité de la

liaison phosphate. En conséquence, on a adopté une formule d'ion ampholyte, la charge négative sur l'acide phosphorique étant équilibrée par une charge positive de l'atome de cobalt. De ces résultats supplémentaires, on peut déduire la structure complète (v) de la vitamine B_{12}, bien qu'il reste quelques doutes sur la localisation précise du système de doubles liaisons, déduite surtout d'expériences sur le comportement de la vitamine à la chloruration. Pour clarifier ce point, il faudra encore des travaux qui, d'ailleurs, ne changeront rien au schéma général.



IV

Il faut voir apparemment plus qu'une simple coïncidence dans le fait que la disposition des chaînes latérales propioniques et acétiques dans (v) correspond à celle de l'uroporphyrine III dont on a reconnu le mode de formation biologique [16]. On a suggéré [14] une modification de ce schéma biogénétique qui pourrait conduire au noyau de la vitamine B_{12}. Ce schéma, modifié, peut également donner quelques idées sur la façon dont on pourrait faire la synthèse de cette molécule complexe. Sous cette lumière, l'extraordinaire complexité de la molécule de la vitamine B_{12} est



V

quelque peu atténuée: on peut y voir un parent, pas trop éloigné des porphyrines naturelles, comme l'hème et la chlorophylle, qui sont très répandues dans la nature.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Minot, G. R. et Murphy, W. P. *S. Amer. med. Ass.*, **87**, 470, 1926.

[2] Subba Row, Y., Hastings, A. B. et Elkin, M. *Vitam. and Horm.*, **3**, 237, 1945.

[3] Fantes, K. H., Page, J. E., Parker, L. J. F. et Lester Smith, E. *Proc. roy. Soc.*, B, **136**, 592, 1950.

[4] Shorb, M. S. *J. biol. Chem.*, **169**, 455, 1947; **176**, 1463, 1948.

[5] Lester Smith, E. *Nature, Lond.*, **161**, 638, 1948; **162**, 144, 1948.

[6] Rickes, E. L., Brink, N. S., Koniuszy, F. R., Wood, T. R. et Folkers, K. *Science*, **107**, 396, 1948; **108**, 134, 1948.

[7] *Idem. Ibid.*, **108**, 634, 1948.

[8] Stokstad, E. L. R., Page, A., Pierce, J., Franklin, A. L., Jukes, T. H., Heinle, R. W., Epstein, M. et Welch, A. D. *J. Lab. clin. Med.*, **33**, 860, 1948.

[9] Castle, W. B., Rose, J. B., Davidson, C. S., Burchenal, J. H., Fox, H. J. et Ham, T. H. *Science*, **100**, 81, 1944.

[10] Latner, A. L. *Biochem. J.*, **59**, xxviii, 1955.

[11] Armitage, J. B., Cannon, J. R., Johnson, A. W., Parker, L. J. F., Lester Smith, E., Stafford, W. H. et Todd, A. R. *J. chem. Soc.*, 3849, 1953.

[12] Cannon, J. R., Johnson, A. W. et Todd, A. R. *Nature, Lond.*, **174**, 1168, 1954.

[13] Brink, C., Hodgkin, D. C., Lindsey, J., Pickworth, J., Robertson, J. H. et White, J. G. *Ibid.*, **174**, 1169, 1954.

[14] Hodgkin, D. C., Pickworth, J., Robertson, J. H., Trueblood, K. N., Prosen, R. J., et White, J. G. *Ibid.*, **176**, 325, 1955;

Bonnett, R., Cannon, J. R., Johnson, A. W., Sutherland, I. R., Todd, A. R. et Lester Smith, E. *Ibid.*, **176**, 328, 1955.

[15] Kuehl, F. A., Shunk, C. H., et Folkers, K. *J. Amer. chem. Soc.*, **77**, 251, 1955.

[16] Rimington, C. *Endeavour*, **14**, 126, 1955.

Ondes de choc dans l'air

par E. W. E. ROGERS

Lorsqu'un gaz se déplace à une vitesse supérieure à celle du son, on observe la formation d'une onde de choc. Depuis quelques années, il a fallu tenir compte de ce phénomène dans la construction des avions, et on a multiplié les études expérimentales et théoriques. L'intérêt de ces ondes se manifeste également dans d'autres domaines: elles permettent l'étude du comportement des gaz à des températures impossibles à atteindre autrement au laboratoire. Cet article passe en revue les propriétés essentielles des ondes de choc et leur importance pratique.

On remarqua, semble-t-il, pour la première fois, la force exceptionnelle de la résistance de l'air au passage d'un corps se déplaçant à une vitesse supérieure à celle du son en 1742, au cours d'essais d'artillerie avec projectiles sphériques. Près de 150 ans devaient cependant passer avant que l'on reconnût que l'accroissement de cette résistance était dû à la formation d'ondes intenses de compression de l'air au voisinage du corps. L'étude scientifique de ces ondes de compression a progressé durant ce siècle à tel point que lorsqu'eut lieu le premier vol supersonique contrôlé en 1947, le comportement de l'avion fut conforme aux prévisions déduites des essais de laboratoire.

Les ondes de choc ne concernent que les gaz se mouvant à une vitesse supersonique et ne peuvent pas se produire lorsque la vitesse est partout inférieure à celle du son. On peut considérer une onde sonore comme une onde de choc extrêmement faible; la vitesse du son est donc une base commode pour évaluer celle d'une onde de choc. La théorie simple de la propagation des ondes sonores suppose en général que les changements simultanés de densité et de pression de l'air sont très faibles et que le temps ne modifie pas la forme des ondes. Cependant, lorsque l'amplitude des variations de pression cesse d'être faible, l'onde peut changer de forme à mesure que la perturbation se déplace [1] car la zone de hautes pressions de l'onde se déplace plus rapidement que l'autre. Il peut même arriver que la zone de basse pression soit dépassée et que la pression augmente alors de façon presque discontinue avec un "front" très abrupt; la perturbation est devenue une onde de choc (figure 1).

L'onde de choc se propage dans l'air non-perturbé à une vitesse supérieure à celle d'une onde sonore, mais en raison de la hausse de température consécutive à l'augmentation de pression, la vitesse du choc par rapport à l'air qu'il laisse en arrière est inférieure, pour cette région, à celle du son. Le type d'onde opposé, celui où la pression baisserait sur un front très abrupt ne peut avoir lieu; ce serait une onde instable qui se transformerait immédiatement.

Ce fut Stokes, en 1848, qui examina le premier cette discontinuité de pression possible dans la propagation d'une onde; d'autres recherches effectuées ensuite, enrichirent nos connaissances sur ce que l'on considérait alors comme un phénomène intéressant, cet intérêt fût-il seulement théorique. Mais, après les études détaillées de Rayleigh [2] en 1910, nos connaissances sur la production des ondes de choc par les projectiles à grande vitesse et par les explosions, ont reçu des bases solides. Dans les années ultérieures, les travaux se sont multipliés lorsque s'est révélée l'importance des ondes de choc dans l'aérodynamique des avions, des projectiles et des objets en rotation, les problèmes de détonation et la thermodynamique des combustions.

Le comportement des ondes de choc diffère de celui de certaines autres ondes (sonores ou électromagnétiques). Ainsi, l'excès de pression lors de l'interférence des ondes sonores est additif; par contre, l'interaction et la réflexion des ondes de choc peuvent amener des accroissements de pression considérables [3]. Aussi l'équation différentielle relative à leur formation et à leur propagation est-elle non-linéaire; l'analyse mathématique en est, de ce fait, rendue assez complexe.

FIGURE 1 – *Formation d'une discontinuité de pression dans une onde de compression à grande amplitude se propageant dans un gaz parfait.*

Il suffit d'habitude, en ce qui concerne les problèmes pratiques pour lesquels elles interviennent, de les considérer comme de simples discontinuités dans les caractéristiques du fluide parfait. Dans un fluide réel tel que l'air, à la montée abrupte du front de pression à mesure que l'onde se propage (figure 1), s'oppose l'action diffusive de la viscosité et de la conductivité calorifique et par suite, dans l'onde de compression intégralement développée, le gradient de pression, bien qu'élevé, reste fini. L'épaisseur et la structure de l'onde de choc sont alors bien déterminées.

ONDES DE CHOC DANS UN ÉCOULEMENT PERMANENT

Pour un observateur se déplaçant avec l'onde de choc, l'air paraît s'approcher de l'onde avec une rapidité supersonique et s'en éloigner à une vitesse inférieure à celle du son pour la région située à l'arrière de l'onde. Si l'onde de choc est inclinée sur le courant supersonique qui s'approche, le comportement est analogue pour la composante de la vitesse normale au front d'onde, mais la composante parallèle n'est pas modifiée. Une onde de choc inclinée réduit donc dans une certaine mesure la vitesse résultante du courant (celle-ci restant cependant supersonique), et de plus, le dévie d'un angle brusque. La déviation brusque d'un écoulement supersonique sur un obstacle solide s'effectue par une onde de choc d'inclinaison et de force convenables (figure 2). Un courant infrasonique s'approchant du coin changerait progressivement de direction, mais sans aucune des modifications brusques de direction et de vitesse qui caractérisent le courant supersonique.

Vu l'importance considérable des ondes de choc produites par le déplacement ultra-rapide de certains corps, il y a intérêt à étudier leur origine. Il est commode de supposer que le corps est immobile dans un courant d'air; comme il produit dans le courant une perturbation, l'air se trouve à la fois accéléré et retardé à son voisinage. Pour une valeur infrasonique particulière de la vitesse du courant, la vitesse du son sera atteinte en certains points sur la surface du modèle, et si la vitesse d'écoulement s'accroît encore, il se produit alors au voisinage du modèle une région d'écoulement supersonique localisé. Tandis que l'air peut subir une accélération progressive jusqu'aux vitesses supersoniques grâce aux surfaces courbes du corps, le retour ultérieur aux conditions infrasoniques est, au contraire, essentiellement instable et s'accomplit au moyen d'une onde de choc normale; cette onde marque donc l'arrière d'un écoulement supersonique local à l'intérieur du courant infrasonique.

A mesure que la vitesse du courant se rapproche de celle du son, l'onde de choc normale recule jusqu'à l'arrière du corps et lorsqu'elle égale celle du son, une onde de choc apparaît en amont dans le courant. Cette onde rend infrasonique l'écoulement entre elle-même et le corps et l'on peut donc la considérer comme la limite de transmission en amont des perturbations de pression. Si la vitesse du courant s'accroît encore, l'onde à l'avant s'approche du corps et la région infrasonique intermédiaire diminue. Si l'avant de l'obstacle est pointu, l'onde de choc s'y attache et se trouve alors incliné d'un angle convenable lui permettant de dévier l'écoulement autour du modèle de façon semblable à celle que représente la figure 2. Un nouvel accroissement dans la vitesse du courant ne fait que réduire l'angle entre les ondes de choc et la direction de l'écoulement non-perturbé, et pour des vitesses supersoniques très élevées, l'onde à l'avant devient très proche de la surface du corps. La succession complète de ces phénomènes est traduite graphiquement par la figure 3.[1]

Lorsque l'écoulement autour du corps comporte à la fois des régions infra- et supersoniques, il est très difficile de prévoir théoriquement la position et la force des ondes de choc si l'on ne connaît que la forme du corps et la vitesse du courant. Ce type d'écoulement mixte se produit dans ce que

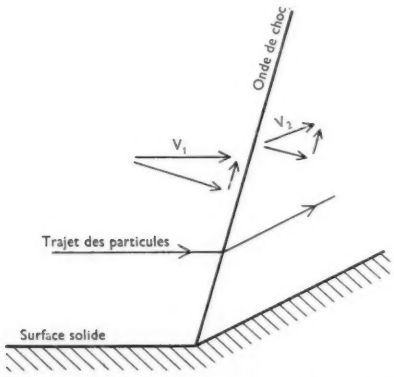


FIGURE 2 – *Déviation d'un courant par une onde de choc.*

[1] La ressemblance entre la forme des ondes de vitesse supersonique et celle des ondes de surface produites par un navire, vues d'en haut, n'est pas fortuite. Le mouvement d'une surface d'eau libre (s'il y a peu de profondeur) est en fait équivalent au mouvement ondulatoire produit dans un gaz par une perturbation similaire, si le rapport des chaleurs spécifiques du gaz est 2; pour l'air il est de 1,4.

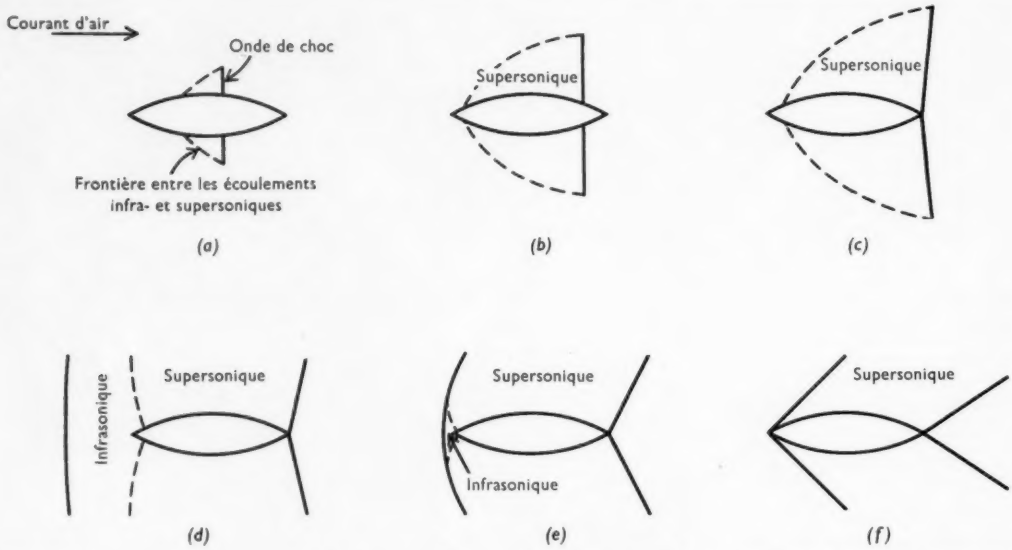


FIGURE 3 – *Apparition et mouvement de l'onde de choc au voisinage d'un corps de forme caractéristique immergé dans un courant d'air en écoulement permanent. (a) L'onde vient juste de se former, pour une vitesse infrasonique. (b) Vitesse infrasonique élevée. (c) Juste au-dessous de la vitesse du son. (d) Juste au-dessus de la vitesse du son. (e) Courant à vitesse supersonique, mais basse. (f) Vitesse supersonique modérée.*

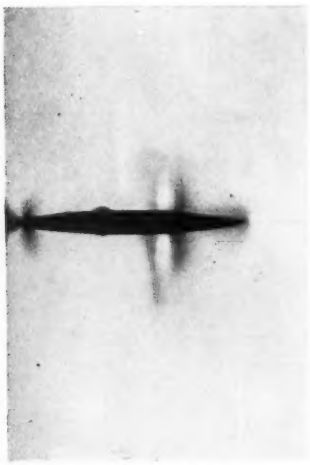
l'on appelle la région trans-sonique lorsque la vitesse du courant est proche de celle du son. Ce palier de vitesse est d'une grande importance en aéronautique et les études expérimentales concernant les effets d'onde de choc et le comportement corrélatif d'un corps pour ces vitesses, se font d'ordinaire sur des modèles en vol libre ou bien des modèles immobiles maintenus dans le courant d'air d'une soufflerie.

Pour un champ d'écoulement intégralement supersonique, l'analyse mathématique est assez simplifiée, et l'on a fait ces dernières années de grands progrès dans la prévision de la force et de la position des ondes de choc. Les résultats théoriques ont été abondamment prouvés par les données d'expérience obtenues grâce aux deux méthodes du vol libre et de la soufflerie.

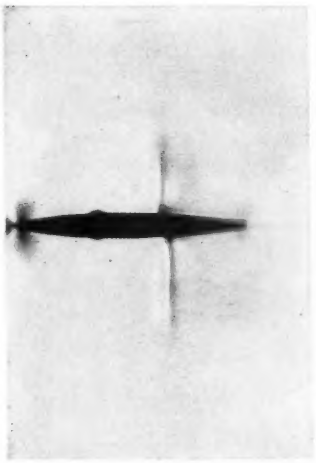
La technique du vol libre est très employée en balistique. Dès 1886, Ernst Mach [4, 5] obtint la photographie d'une balle en vol à une vitesse d'environ 1,5 fois celle du son; on y voyait clairement les ondes de choc inclinées partant de l'avant de la balle. Mach avait prévu en théorie cette forme d'écoulement. Ce fut un précurseur des études des problèmes de vol à grandes vitesses, c'est pourquoi l'on a donné au rapport entre la vitesse du modèle (ou, si le modèle est immobile par rapport à l'observateur, la vitesse du fluide) et la vitesse du son en un point, le nom de nombre de Mach de ce mouvement, désigné par M. La figure 6 présente la photographie moderne d'un projectile en vol, au nombre de Mach 2,51. Les ondes de choc sont des régions à gradients de densité intense; elles réfractent donc la lumière issue d'une étincelle de brève durée et se présentent comme des ombres (bordées de bandes lumineuses) sur une plaque photographique placée de l'autre côté du projectile par rapport à l'étincelle. La largeur de ces ombres d'ondes de choc dépend surtout de la géométrie de l'appareil et n'a pas de rapport avec l'épaisseur véritable de l'onde de choc; notons que cette remarque s'applique à toutes les photographies d'écoulement présentées au cours de cet article.

Dans la soufflerie, on crée un courant d'air uniforme que l'on fait passer sur un modèle immobile à des vitesses pouvant atteindre jusqu'à neuf fois celle du son; on peut alors étudier la forme des ondes de choc produites par le modèle, soit visuellement, soit par des appareils d'examen adaptés.

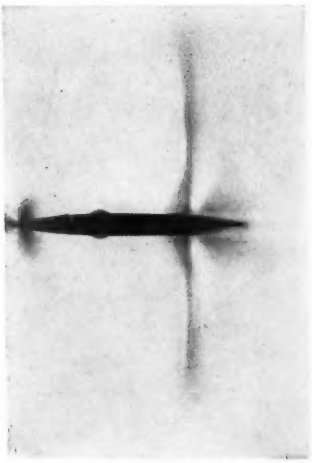
Les dimensions de section utilisable de la soufflerie où se trouve le modèle peuvent varier d'une soufflerie à l'autre, depuis quelques centimètres carrés de section transversale jusqu'à plusieurs mètres carrés; les dimensions du modèle



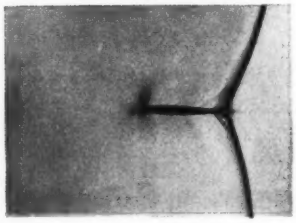
(a) M = 0,81



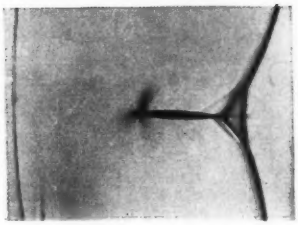
(b) M = 0,84



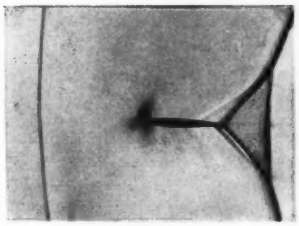
(c) M=0,88



(d) M = 0,95



(e) M = 1,03



(f) M = 1,08

FIGURE 4 (a)–(f) – *Photographies* Schlieren *en couleurs de l'écoulement gazeux autour d'un modèle de section d'aile d'avion, pour des nombres de Mach infra et trans-soniques (l'air s'écoule de gauche à droite).*

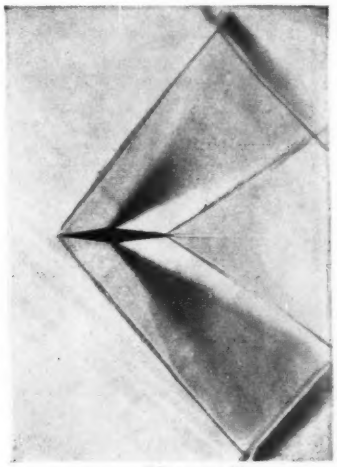


FIGURE 5 – *Photographies en couleurs* Schlieren *de l'écoulement autour d'une section d'aile supersonique, caractéristique* (M = 1,6). (*L'air s'écoule de gauche à droite.*)

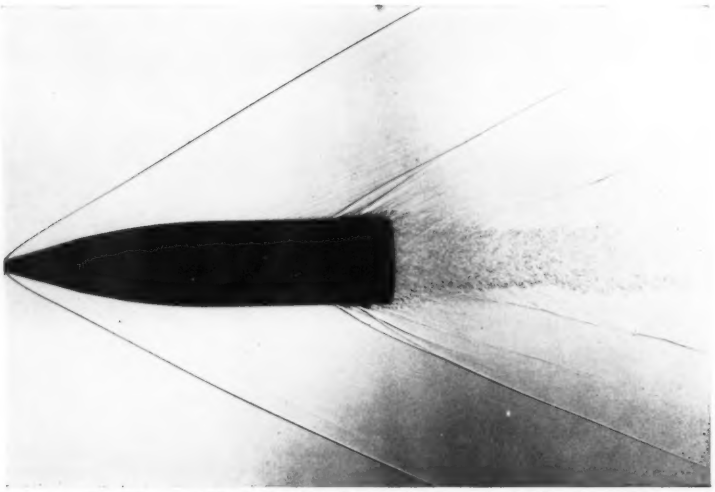
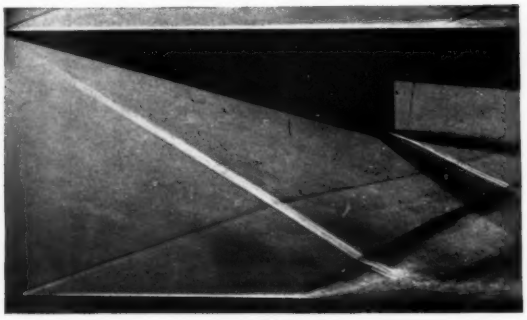


FIGURE 6 – *Photographie de l'ombre d'un projectile, volant à la vitesse* $M = 2{,}51$.

(a)



(b)

FIGURE 7 – *Réflexion des ondes de choc à partir d'une surface plane, à* $M = 3$, *avec, en évidence, divers modes d'interaction entre l'onde de choc et la couche limite du plan.* (*a*) *Réflexion d'une onde faible.* (*b*) *Réflexion d'une onde forte.*

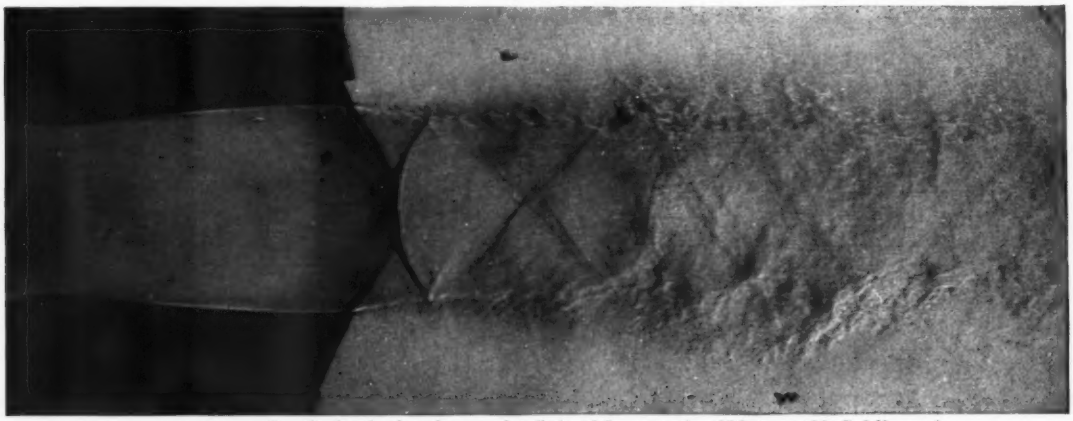


FIGURE 8 – *Ondes de choc dans un jet d'air* ($M = 1{,}43$). (*Photographie* Schlieren.)

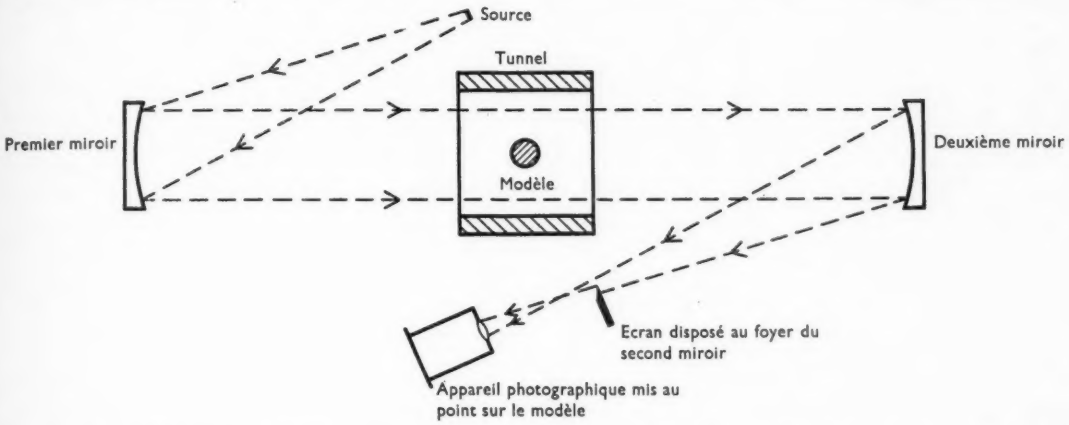


FIGURE 9 – *Méthode optique* Schlieren *utilisée avec un tunnel à soufflerie* (*le courant dans le tunnel est normal au plan du papier*).

correspondant varient aussi et le modèle correspondant à une grande soufflerie peut avoir plusieurs mètres d'envergure et de longueur, ce qui permet, si nécessaire, la représentation de détails très précis. Les grandes souffleries modernes à grandes vitesses sont des appareils complexes; quant à la production de leur courant d'air, elle nécessite plusieurs milliers de chevaux-vapeur. L'air est amené sur le modèle, soit par une sorte de ventilateur ou de compresseur d'air axial, soit par insufflation d'air à grande vitesse par des ouvertures étroites dans les parois du tunnel en aval de la position du modèle. Ces souffleries peuvent rester en marche, soit en permanence, soit assez longtemps pour que la durée finie de la marche n'intervienne pas comme facteur. Pour réaliser des nombres de Mach supérieurs à 4, il vaut souvent mieux ouvrir un récipient à air comprimé sous une haute pression, ou au contraire, un récipient, où l'on a fait le vide, de façon à ce que le courant d'air résultant traverse la section de travail. La durée de marche de ces types de soufflerie est brève, quelques secondes seulement, et les appareils doivent être très au point pour permettre une information exacte dans ce temps limité.

A mesure que l'air est accéléré dans la section de travail du tunnel, sa température s'abaisse; cette réduction suffit à provoquer la condensation de l'oxygène et de l'azote lorsque le nombre de Mach dans la section de travail dépasse 4,5, à moins que l'on ne réchauffe l'air à vitesse lente pris à l'entrée, bien au-dessus de la température atmosphérique normale.

Les ondes de choc issues du modèle dans le courant d'air de la soufflerie peuvent être révélées optiquement comme pour la photographie du projectile de la figure 6. On peut également utiliser des interféromètres, d'ordinaire du type Mach-Zehnder, pour donner le champ des densités autour du modèle; on peut aussi mesurer la densité de l'air directement, en déterminant l'absorption des rayons X qui traversent le courant d'air dans la soufflerie au voisinage du modèle. Toutefois, la méthode la plus importante est celle qu'adapta Mach à partir d'un procédé utilisé par Toepler pour rechercher les imperfections des miroirs optiques. On l'appelle méthode *Schlieren* (ou de striation) [6]. Le dispositif optique utilisé d'habitude pour les souffleries est représenté dans la figure 9; la lumière, réfractée par des changements de densité du fluide aux environs du modèle, est déviée, soit vers le demi-écran au foyer du second miroir, soit dans la direction opposée. La direction de la déviation dépend du signe du gradient particulier de densité causant la perturbation optique et les changements d'illumination de l'image du champ d'écoulement obtenus dans l'objectif sont proportionnels à ces gradients de densité.

Avec une source lumineuse monochromatique, les ondes de choc se révèlent comme des bandes claires ou sombres sur fond gris. Par ailleurs, on peut se servir comme source lumineuse d'un petit spectre et l'on peut alors amener les effets de réfraction à donner des changements de couleur de part et d'autre de la position sur le spectre de la couleur de fond. C'est cette méthode *Schlieren* en couleur [7] que l'on employa pour obtenir les figures 4 et 5. Sur la figure 4 le modèle représente

une section d'aile d'aéroplane qui couvre complètement la largeur de la soufflerie, si bien que l'écoulement est le même sur toute cette largeur. La succession des photos montre la croissance et le développement des ondes de choc à mesure que s'accroît le nombre de Mach du courant qui s'approche et correspond ainsi à une partie des changements d'écoulement traduits par la figure 3. Les ondes de choc de la figure 4 (*a*), (*b*), (*c*), apparaissent en bleu, c'est-à-dire qu'elles provoquent un déplacement vers le bleu de la couleur de fond, et les régions où la densité décroît dans la direction du courant apparaissent en rouge. La deuxième série de photos de cette figure: (*d*), (*e*), (*f*), illustrent l'écoulement de l'air autour de la même section d'aile à des vitesses proches de celle du son; on a cependant choisi la couleur de fond dans une autre portion du spectre. Sur la figure 5, la section d'aile est de forme différente et possède le bord tranchant permettant à l'onde à l'avant de s'accrocher au modèle pour le nombre de Mach 1,6. Le système optique de cette photo fut disposé de façon à ce que les changements de couleur obtenus soient inverses de ceux de la figure 4; on peut ainsi distinguer clairement les ondes de choc rouges, aussi bien que la zone continue de détente verte, en forme d'éventail, indiquant la détente de l'air, autour de l'épaulement de la section.

Des ondes de choc comparables à celles de la figure 5 se forment sur l'aile d'un avion volant à une vitesse supérieure au son, et peuvent dans certaines conditions, arriver jusqu'au sol, même si l'avion manœuvre à une altitude supérieure à 6000 m. Un observateur à terre peut alors les entendre comme des détonations aiguës que l'on nomme généralement «explosions soniques». Il arrive que l'on entende deux détonations ou même davantage, en succession rapide; la cause de ces répétitions est encore douteuse: il se peut qu'elles soient dues aux ondes de choc séparées produites respectivement sur l'aile et sur la queue de l'avion; ou bien encore elles peuvent provenir d'une seule onde qui aurait subi en descendant à terre des déformations résultant de sa réflexion contre le sol. On semble maintenant s'accorder à dire que la détonation est due à la perturbation de l'air provoquée par le mouvement de l'aéroplane et que le bruit supplémentaire produit par les moteurs n'ajoute que très peu à l'onde de compression qu'entend finalement l'observateur. L'intensité de cette onde de compression dépend de la position et du trajet de l'avion, mais peut être parfois assez intense pour briser des vitres à la surface de la localité.

La réflexion de l'onde à l'avant contre le mur de la soufflerie se voit sur la figure 5. En théorie, l'onde réfléchie devrait n'être qu'une simple onde de compression, mais la zone verte au voisinage du point de réflexion indique qu'il se produit en même temps une détente du courant. La nature plus complexe de la réflexion provient de l'étroite bande d'air adjacente à la paroi du tunnel ralentie du fait des frottements. L'interaction entre une onde de choc et la couche limite d'une surface voisine est d'importance capitale et a fait, ces dernières années, l'objet de nombreuses études [8]. Les figures 7 représentent l'interaction d'une onde de choc faible (*a*) ou forte (*b*), causée par le coin visible en haut de l'image, avec la couche limite sur une surface plane. Dans le second cas, l'interaction est assez puissante pour que le courant se décolle de la surface du plan en avant de l'écoulement, à partir du point d'interaction. L'on peut observer sur la figure 7 (*b*) la réfraction d'une onde de choc inclinée faible (montant de gauche à droite), sur le second choc plus fort ainsi que sur l'éventail de détente, visible à l'arrière du coin.

Les pressions superficielles dans la région d'interaction changent avec le type d'interaction et peuvent modifier sérieusement la résultante des forces du courant d'air sur le corps. Si cette interaction se produit au voisinage d'une surface de commande (aileron ou gouvernail de profondeur), elle peut rendre la commande impuissante, ce qui entraînera sans doute des conséquences désastreuses pour l'avion. Ce genre de problème ne peut se résoudre qu'au moyen de tests répétés sur des modèles dans la soufflerie.

Autre aspect de l'écoulement à grande vitesse avec ondes de choc: l'émission d'un gaz par un orifice. On voit, sur la figure 8, un jet d'air au nombre de Mach 1,43. L'onde de choc initiale bien définie ajuste la pression à l'intérieur du jet à celle de l'air environnant, mais le mélange qui se produit ensuite à la limite du jet brise ce dernier, tandis que la vitesse de l'air se ralentit par chocs successifs.

ONDES DE CHOC SPHÉRIQUES

Les ondes provenant d'explosions dans l'air peuvent se considérer comme des ondes de choc sphériques se propageant à partir du lieu de l'explosion. Dans ce mouvement, la vitesse est radiale et, contrairement à ce qui se passe dans les écoulements permanents que nous venons de discuter, les caractéristiques du front de l'onde dépendent de sa distance du point de départ et du temps qui s'est écoulé depuis le moment de

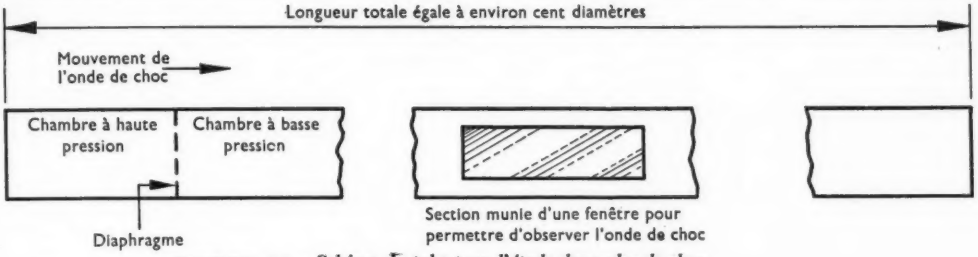


FIGURE 10 – *Schéma du tube pour l'étude des ondes de choc.*

l'explosion. Si l'on connaît la masse d'explosif qui engendre l'onde de choc, l'on connaît d'emblée l'énergie totale disponible pour son mouvement. La force de l'onde de choc sphérique, bien plus élevée à l'origine probablement que celles que l'on rencontre dans les vols à grande vitesse, décroît avec le temps et l'air comprimé par le passage de l'onde a ensuite la faculté de se détendre jusqu'à une pression inférieure à celle qui règne en avant de l'onde. Cette phase de succion est un des caractères importants des mouvements d'ondes d'explosion [9].

ONDES DE CHOC TRÈS FORTES ET STRUCTURE DES CHOCS

La très grande force des ondes de choc provoquées par une explosion implique que l'air qui se trouve en arrière de l'onde atteint une très haute température; dans ces conditions, on ne peut s'attendre à ce que le comportement de l'air soit celui d'un fluide parfait; c'est pourquoi l'étude des ondes de choc fortes présente un intérêt considérable.

L'une des méthodes de laboratoire pour l'étude des ondes de choc intenses est celle du tube à choc [10] (figure 10). Il comprend essentiellement un long tube uniforme à section carrée d'environ 900 cm², divisé initialement par un diaphragme en deux compartiments contenant un gaz à deux pressions différentes. Lorsque le diaphragme se rompt, une onde de choc normale se dirige vers le côté des basses pressions, une onde de détente vers l'autre côté. On peut à ce moment-là étudier l'interaction temporaire de cette onde de choc avec des objets solides placés dans le tube; ainsi, on a utilisé des méthodes photoélastiques pour déterminer les tensions temporaires internes du modèle [11].

Le comportement de l'onde de choc diffère de celui que l'on peut déduire des lois des gaz parfaits; cela tient surtout à la variation des chaleurs spécifiques avec la température ainsi qu'à la dissociation et à l'ionisation des gaz, car ces deux derniers effets deviennent très importants à des températures supérieures pour le premier à 3000°K, pour le second à 5000°K. On reconnaîtra sur la figure 11, l'importance de la réduction de température provoquée par ces trois effets en fonction du nombre de Mach auquel se propage le choc.

A des températures très élevées et pour de faibles densités en arrière du choc, les molécules de gaz mettent longtemps pour retrouver l'équilibre après le passage du choc. Les degrés de liberté associés à la translation et à la rotation moléculaire n'exigent que quelques collisions pour que l'équilibre thermique soit atteint, mais les vibrations et la dissociation moléculaire en exigent un bien plus grand nombre. Pour des densités moyennes, ces deux modes sont négligeables et l'épaisseur du choc qui s'ensuit, région à l'intérieur de laquelle l'état du gaz se modifie, est de l'ordre de

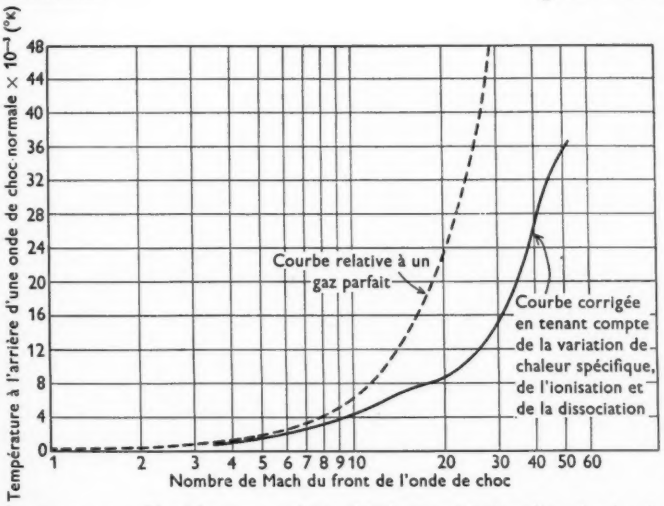


FIGURE 11 – *Températures atteintes théoriquement à l'arrière d'ondes de choc de grande énergie, se propageant dans l'air calme à 300°K.*

quelques libres parcours moyens. Le choc de grande puissance dans les gaz rares se compose sans doute de deux parties: un front abrupt dont l'épaisseur ne dépasse pas quelques libres parcours moyens, suivi d'une zone de plus grande longueur où l'équilibre thermique est atteint d'une part entre les degrés de liberté de translation et de rotation et, d'autre part, les modes de vibration et de dissociation.

Ces effets moléculaires interviennent dans certains gaz dans des conditions bien moins extrêmes que dans le cas de l'air, si bien que si l'on choisit convenablement le fluide étudié, on obtiendra de façon notablement plus facile les indications concernant le comportement de l'air à des nombres de Mach très élevés.

L'on peut, d'autre part, considérer l'onde de choc puissante produite dans un tube à choc comme un moyen de production de très hautes températures dans un gaz. Dans ces cas-là, la température à l'arrière du choc peut s'accroître du fait de la réflexion sur l'extrémité fermée du tube; on peut encore l'accroître en modifiant la forme du tube de façon à rendre l'onde cylindrique et à la faire converger en un point. C'est en général un gaz simple et non un mélange que l'on étudie; l'on a pu atteindre de cette façon des températures de 18000°K [12]. A ces hautes températures, le choc acquiert une très grande conductibilité électrique et il se développe à l'arrière du choc une bande lumineuse.

En dehors de son intérêt propre, une documentation de cet ordre est appréciable pour l'étude des météores que l'on peut considérer comme des projectiles se déplaçant à des nombres de Mach très élevés (jusqu'à 100) dans une atmosphère de faible densité [13], produisant une onde de choc de grande puissance, mais diffuse. Le problème se complique du fait qu'il faut tenir compte de l'évaporation du météore due à la température élevée à l'arrière de l'onde. L'on suppose l'existence de phénomènes semblables aux ondes de choc diffuses, dans les nuages de gaz raréfié des espaces interstellaires.

On peut étudier en théorie la structure de l'onde de choc, soit en supposant que l'on a affaire à un gaz continu, mais visqueux et conducteur de la chaleur, soit en utilisant la théorie cinétique des gaz. L'hypothèse du gaz continu n'est satisfaisante que pour des nombres de Mach inférieurs à 2. Au-dessus, l'on se sert en général de la théorie cinétique en tenant compte des changements avec la température des coefficients de conductibilité calorifique et de viscosité. Cette étude, quand il s'agit de gaz qui, comme l'air, ne sont pas composés de molécules simples, est très complexe [14].

Excepté pour des écoulements de faible densité, toute tentative pour mesurer l'épaisseur du choc par les méthodes directes, est vouée à l'échec du fait que les distances en jeu sont très petites. Une technique élégante cependant vient d'apparaître [15]: elle est basée sur le fait que l'épaisseur de l'onde de choc est à peu près égale à la longueur d'onde de la lumière. On peut analyser la réflexion d'un faisceau lumineux sur le front de l'onde de choc se propageant dans un tube et comparer les résultats avec les prévisions obtenues grâce aux modèles théoriques de structure du choc. La pulsation lumineuse réfléchie n'est que le millionième environ, en intensité, de la lumière incidente, et sa durée d'environ 20 microsecondes. On n'a jusqu'à présent mesuré par cette méthode que des fronts d'ondes de choc dans l'argon et l'azote à de faibles vitesses de choc supersoniques; on trouva que pour ces gaz les modèles théoriques n'étaient pas grossièrement faux.

BIBLIOGRAPHIE

[1] LAMB, H. «Hydrodynamics» (6e éd.). Dover Publications Inc., New York. 1945.

[2] RAYLEIGH, LORD. *Proc. roy. Soc.*, A, **84**, 247, 1910.

[3] COURANT, R. et FRIEDRICHS, K. «Supersonic Flow and Shock Waves». Interscience Publishers Inc., New York et Londres. 1949.

[4] MACH, E. «Popular Scientific Lectures». The Open Court Publishing Company, Chicago. 1910.

[5] BLACK, J. *J.R. aero. Soc.*, **54**, 371, 1950.

[6] PANKHURST, R. et HOLDER, D. «Wind Tunnel Technique». Sir Isaac Pitman and Sons Limited, Londres. 1952.

[7] HOLDER, D. et NORTH, R. *Nature, Lond.*, **169**, 466, 1952.

[8] LIGHTHILL, M. *Proc. roy. Soc.*, A, **217**, 344, 1953.

[9] TAYLOR, G. I. *Ibid.*, **201**, 159, 1950.

[10] LUKASIEWICZ, J. National Aeronautical Establishment, Canada. Rapport 15, 1952.

[11] BLEAKNEY, W., WHITE, D. et GRIFFITH, W. *J. appl. Mech.*, **17**, 439, 1950.

[12] RESLER, E., LIM, S. et KANTROWITZ, A. *J. appl. Phys.*, **23**, 1081, 1952.

[13] WHIPPLE, F. *Rev. mod. Phys.*, **15**, 246, 1943.

[14] GRAD, H. *Commun. pure appl. Math.*, **5**, 257, 1952.

[15] GREEN, E., COWAN, G. et HORNIG, D. *J. chem. Phys.*, **19**, 427, 1951.

Les mycorhizes des arbres de forêt

par J. L. HARLEY

Bien qu'on sache depuis longtemps que les racines de certaines plantes sont associées d'ordinaire à des champignons, ce n'est que depuis peu que le sens de cette association est apparu clairement. Des expériences ont prouvé que dans le cas des arbres de forêt ces associations de champignons aux racines fonctionnent comme des accumulateurs aérobies d'ions très efficaces qui contribuent à la lutte pour la vie engagée par la plante et le champignon parmi tant d'autres organismes vivants du sol.

Depuis plus de cent ans on sait que maintes plantes supérieures sont intimement associées à des mycélions fongoïdes qui vivent à la surface ou à l'intérieur des tissus de leurs racines. La morphologie et l'anatomie des racines sont affectées de façon considérable par l'activité de certains de ces champignons, et les structures résultantes, mi-champignons mi-racines, diffèrent nettement de racines saines. Les activités d'autres mycètes sont importantes aussi même si leurs effets sont invisibles à la surface. Dans une étude détaillée des racines du hêtre d'Europe Frank [3] a donné le nom de mycorhize à ce premier type de racine-champignon. Il démontra qu'il existe des mycorhizes analogues sur les racines de beaucoup d'arbres angiospermes cupulifères, et sur celles des pins et de plantes apparentées. L'emploi du terme mycorhize s'étendit plus tard à tous les champignons qui accompagnent les organes d'absorption des plantes vertes et aux saprophytes des plantes supérieures comme les orchidées incolores. Ces individus normaux et sains dans leur habitat naturel sont infestés par des champignons et subissent de nettes altérations structurelles et histologiques. On sait maintenant qu'il y a un environnement favorable pour la plupart des plantes, ou une époque particulière de leur existence, où leurs racines ou d'autres organes d'absorption élaborent des mycorhizes conformes à notre définition.

On s'aperçut fort tôt que l'infestation par des mycorhizes stimule en quelque sorte la croissance des plantes qui en sont atteintes et l'on en conclut naturellement que la fonction physiologique des mycorhizes les rattachait particulièrement à l'absorption d'azote par la plante. La captation d'azote par les nodules bactériens des racines des légumes était déjà prouvée et maintes expériences agricoles sur le traitement du sol par les engrais avaient fortifié l'opinion que les substances azotées jouent un rôle prépondérant dans la croissance végétale. Deux raisons principales expliquent pourquoi il a fallu si longtemps pour élucider la vraie nature des phénomènes associés aux mycorhizes. D'une part, on avait admis sans vérification expérimentale sérieuse que les mycorhizes stimulent la croissance parce qu'ils favorisent l'absorption d'azote. De l'autre, on ignorait les principes qui régissent la physiologie de l'absorption des substances minérales par les racines des plantes. Un facteur important qui a également contribué à la confusion des idées était la tendance à supposer que les associations de mycètes aux racines — les mycorhizes — avaient toutes une constitution analogue malgré la grande diversité de leurs structures. Nous éviterons cette dernière difficulté en nous bornant à l'examen d'un seul type de mycorhize; il va sans dire qu'on ne pourra appliquer les conclusions de nos recherches à d'autres types qu'à condition de tenir compte soigneusement de leurs propriétés particulières.

Les arbres les plus répandus dans les forêts de la zone tempérée, tels que le hêtre, le châtaignier, le bouleau, le chêne et le noisetier parmi les angiospermes, le pin, le sapin et le mélèze parmi les conifères, ont leurs radicelles associées à des champignons dans leur habitat boisé naturel. Les mycorhizes qu'ils engendrent ont des structures qui se ressemblent fort dans leurs traits essentiels. Les radicelles, dont l'extrémité est plutôt grosse et arrondie, s'entremêlent en un système racémeux de branches; celles des sapins, par contre, se subdivisent en sous-branchements, mais c'est un cas plus rare. La figure 4 montre les racines-champignons du hêtre poussant dans leur habitat naturel, la figure 5 leur structure anatomique. La structure pseudo-cellulaire des hyphes fongoïdes enserre si étroitement le tissu de l'hôte, surtout à la périphérie, qu'on a peine à discerner les interstices qui les séparent. Le cortex extérieur du noyau central du tissu de l'hôte est envahi par les hyphes fongoïdes qui se développent au sein des

parois cellulaires entre ses cellules et constituent ce qu'on appelle le réseau de Hartig, en souvenir du botaniste allemand qui le découvrit. Quelques hyphes s'introduisent dans les lumières des cellules mais l'ampleur de cette pénétration est variable et même nulle dans certains cas. Des hyphes en quantité variable traversent aussi l'enveloppe fongoïde et passent dans le sol. Certaines branches principales de ces racines et quelques branches latérales aussi semblent préserver leur immunité pendant la majeure partie de leur existence; leur structure est plus normale et présente les coiffes et les poils radiculaires ordinaires.

Pour certaines espèces on a décrit avec soin les caractéristiques qui permettent de distinguer les racines saines et infestées: différences détaillées dans la structure, l'histologie et le mode de croissance, et l'on commence déjà à les expliquer en invoquant la production d'auxine par les champignons. La plupart des racines restées saines pendant longtemps finissent cependant par s'infester un jour. Il arrive parfois — c'est le cas du hêtre — que les champignons recouvrent complètement la racine en retrait de l'extrémité qui pousse rapidement et lorsque la croissance de la plante se ralentit en été, cette gaine ira jusqu'à recouvrir l'extrémité même. Dans d'autres cas, chez le pin par exemple, une infestation interne des tissus succède à la différenciation des cellules situées en retrait de l'extrémité des longues racines.

Melin [7–10] et ses collègues suédois [11] ont étudié à fond les champignons qui interviennent dans la formation de mycorhizes d'arbres. Le meilleur moyen de les identifier est de faire des cultures de mycélions à partir des champignons les plus répandus au voisinage de l'arbre-hôte dans son habitat naturel; puis d'éprouver leur pouvoir de produire des mycorhizes en les inoculant aux racines de plants stériles. Il s'avère ainsi qu'un grand nombre d'agarics et de bolets vénéneux, et certains lycoperdons, notamment les sclérodermes, peuvent engendrer des mycorhizes. Dans tous les cas les propriétés physiologiques de l'espèce sortent quelque peu de l'ordinaire. Ces champignons ne peuvent pousser que dans les sources de carbone contenant les hydrates de carbone les plus simples, et, pour atteindre leur développement complet, ils ont souvent besoin d'ingrédients accessoires, des vitamines, par exemple, comme la thiamine et la biotine. Ils diffèrent donc d'autres champignons de terreau et des bois appartenant aux mêmes groupes taxonomiques, qui sont capables de dégrader la lignine et la cellulose et qui poussent facilement en culture. Du point de vue physiologique leurs caractéristiques de culture ainsi que leur inaptitude notoire à rivaliser en culture mixte avec les saprophytes du sol non-spécialisés les rapprochent plutôt des parasites spécialisés que des formes qui dégradent le fumier et le terreau. Tout porte à croire que nombre d'espèces sont incapables d'acquérir des organes à fruits si elles sont séparées de l'arbre-hôte.

L'extension des mycorhizes sur un hôte végétal dépend des conditions de l'habitat. Des facteurs externes semblent affecter la croissance des mycorhizes, plus par leur action sur l'hôte que sur le champignon. Les premiers chercheurs ont remarqué que l'infestation la plus intense se produit dans les terrains humiques où des couches de résidus végétaux partiellement décomposés forment un horizon permanent à la surface du sol. Dans cet horizon l'on observe le développement d'un agrégat de radicelles à mycorhizes, côte-à-côte avec une multitude de mycélions des types les plus variés. Lors de la chute des feuilles une vraie manne végétale atterrit sur ces horizons, mais elle n'y demeure pas longtemps car les organismes vivants s'empressent de l'absorber; la concentration moyenne des éléments nutritifs de la couche est donc faible. Dans des sols où les couches de terreau ne s'accumulent point et où l'approvisionnement alimentaire est maintenu continuellement à un niveau élevé, le développement des mycorhizes est beaucoup plus modeste.

Les résultats expérimentaux [1, 5] expliquent assez bien cette variation. Il s'avère que, pour tout éclairement permettant la croissance, les mycorhizes se développent mieux à mesure que s'accentue la déficience des aliments végétaux, notamment l'azote, le phosphore et peut-être le potassium. La concentration alimentaire permettant une croissance donnée des mycorhizes augmente avec l'intensité de la lumière. Toutes ces relations ne sont vraies, évidemment, que pour des niveaux moyens d'intensité lumineuse et de concentration alimentaire. Elles ne s'appliquent pas en cas de disette aigüe ou d'abondance excessive, ou lorsque la lumière est très intense, et l'on doit souvent les modifier pour tenir compte des effets de l'action réciproque des aliments. La conclusion de Björkman, confirmée par l'analyse, est que l'infestation est subordonnée à un excès d'hydrates de carbone dans les tissus des racines. Plusieurs observations sont venues appuyer cette hypothèse importante depuis sa publication. Ainsi l'infestation initiale des plants de pin et de

hêtre après la germination n'apparaît qu'après complet développement des feuilles; des hydrates de carbone libres sont alors présents dans les racines. Il est tentant mais imprudent de comparer ces observations avec le fait connu que les champignons de culture, eux aussi, ont besoin d'hydrates de carbone simples, et d'en tirer un rapport de cause à effet; d'autres champignons, incapables de produire des mycorhizes, ont le même besoin d'hydrates de carbone.

Les premiers chercheurs, frappés par la croissance extraordinaire des mycorhizes en terrain pauvre, se persuadèrent que les mycorhizes avaient pour rôle d'augmenter l'absorption des minéraux. Cette interprétation téléologique qui a persisté jusqu'à nos jours est néanmoins sans fondement, indépendamment des propriétés réelles des mycorhizes. Cette erreur n'est pas venue entacher les résultats écologiques et expérimentaux — de trois sources différentes — qu'on a recueillis sur le rôle absorbant des mycorhizes. En premier lieu, des tentatives en vue d'acclimater certains arbres, des conifères notamment, dans des localités étrangères ont souvent échoué, particulièrement en terrain humique; parallèlement, il n'y eut dans ces cas aucun développement de mycorhizes. Divers traitements du sol, par exemple celui de Rayner à Warham [12], ont permis une croissance plus satisfaisante des jeunes plants et l'apparition de mycorhizes sur leurs racines. Il serait prématuré d'envisager ces changements, sans preuve complémentaire, comme des exemples de relations de cause à effet. La deuxième source d'information concerne l'inoculation expérimentale de plants à l'aide de champignons mycorhiziens. Si simples en apparence et si souvent tentés, ces essais sont difficiles à réaliser. Dans les rares exemples satisfaisants on observe qu'en sol pauvre le poids des plants à mycorhizes s'accroît et l'absorption des aliments augmente de façon démesurée. Le tableau I résume les résultats obtenus de cette façon [5] avec le *Pinus Strobus*.

TABLEAU I

	Poids sec	*Azote (% du poids sec)*	*Phosphate (% du poids sec)*	*Potassium (% du poids sec)*
Plants à mycorhizes	404,6	1,24	0,20	0,74
Plants sans mycorhizes	320,7	0,85	0,08	0,43

On a supposé que cet accroissement de l'absorption des minerais par les plants à mycorhizes provient de ce que la surface des racines infestées est plus étendue que celle des racines saines. Cette suggestion est loin d'être satisfaisante parce qu'il est impossible de comparer avec précision des surfaces de racines, et parce qu'elle implique qu'un assemblage de racines enveloppées de champignons absorbe le même poids de minéraux par unité de surface qu'une racine ordinaire. Cette théorie était plausible tant qu'on pensait que les aliments entraient en masse par la transpiration ou par diffusion. Maintenant qu'on sait que l'absorption des sels dépend de réactions métaboliques, cette hypothèse doit être remaniée. La structure même des racines fongoïdes démontre que toute substance qui pénètre dans l'hôte a forcément dû traverser la couche des champignons; son mode d'entrée, et sa forme et sa quantité doivent varier selon que les racines sont infestées ou non.

Au cours de ces dernières années on a recueilli des renseignements d'un troisième ordre. On n'a plus considéré les racines à mycorhizes comme des entités séparées vivant côte-à-côte mais comme un seul organe à fonction unique, et les techniques employées ont souvent été les mêmes que pour l'absorption des sels par les racines normales.

Melin et ses collègues [8, 9, 10] ont prouvé élégamment que les hyphes croissant à la périphérie de la couche des mycorhizes sont capables de fonctionner comme des poils radiculaires. Ils cultivèrent des pins dans du sable stérile puis ils posèrent sur ce sable des plats ouverts contenant des champignons à mycorhizes. Les hyphes finirent par déborder des plats, et, passant dans le sable, elles formèrent des mycorhizes sur les radicelles des pins. Les chercheurs, ayant introduit des solutions d'isotopes de phosphate, d'azote et d'aliments métalliques dans les cultures de champignons, purent observer le mouvement de ces solutions vers les racines et l'intérieur des organes de l'hôte.

Des expériences de courte durée avec des mycorhizes prélevés sur des pins et des hêtres furent effectuées afin de déterminer la vitesse d'absorption et les facteurs externes qui l'influencent. Les vitesses d'absorption par des racines infestées et saines, calculées par unité de surface ou de poids ont été comparées pour le pin [6], et pour le hêtre [4]. Dans chaque cas le taux d'absorption des racines infestées a été plus élevé; le hêtre, par exemple, absorbe le phosphate environ cinq fois et le potassium deux fois plus vite. La

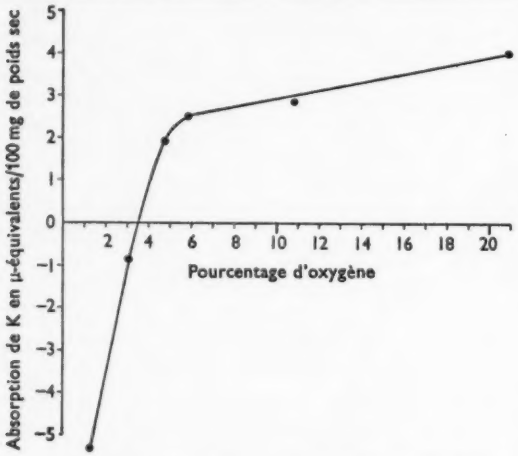


FIGURE 1 – *Effet de la concentration d'oxygène sur l'absorption du potassium d'une solution de KCl (0,128 mM) par des mycorhizes de hêtre pendant 17 heures.*

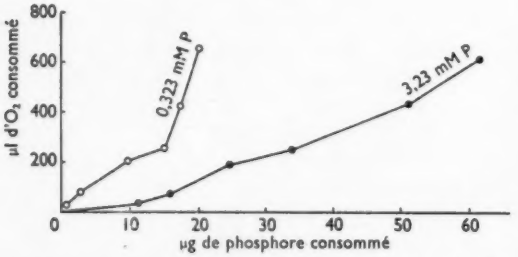


FIGURE 2 – *Rapport entre l'oxygène consommé et le phosphate absorbé par des racines de hêtre.*

vitesse d'absorption du hêtre est particulièrement sensible à l'apport d'oxygène tandis que l'accumulation des sels dans les tissus est liée indirectement à la respiration.

La figure 1 montre que l'absorption de potassium ne commence que lorsque la concentration d'oxygène atteint 3% et atteint son maximum entre 10 et 20%. La figure 2 donne une idée du rapport entre la consommation d'oxygène et l'absorption de phosphate.

Plusieurs facteurs influencent de façon analogue la vitesse d'absorption chez les racines saines et infestées, ce sont la température, la concentration des sels dans la solution extérieure et la présence de substances inhibitoires pour les processus métaboliques. Les deux types de racines présentent le phénomène d'absorption sélective, par exemple l'absorption préférentielle du potassium des solutions de mélanges de sels alcalins (tableau II).

De tels résultats soulignent que les mycorhizes sont capables d'accumuler des sels tout comme

TABLEAU II

Solution	*K absorbé*		*Na absorbé*	
	µE/ 100 *mg*	% *de contrôle*	µE/ 100 *mg*	% *de contrôle*
0,1 mM KCl ..	1,68	100	—	—
0,1 mM NaCl ..	—	—	0,41	100
0,1 mM NaCl + 0,1 mM KCl	1,37	82	0,06	14

Résultats de J. M. Wilson (non-publiés).

d'autres organes; bien que leur comportement expérimental varie souvent du tout au tout, leur efficacité dans l'accumulation des sels est indéniable.

Si efficaces qu'ils soient, les mycorhizes sont réellement plus compliqués que de simples organes d'absorption. Quand on examine de près la distribution des sels absorbés on remarque que l'absorption primaire n'est pas uniforme et qu'une portion importante est retenue par la gaine mycélienne. C'est particulièrement vrai pour le phosphate, dont 90% reste dans la gaine au cours d'expériences de courte durée avec des concentrations de l'ordre de celles qu'on rencontre normalement dans le sol. On a prouvé que le phosphate ainsi accumulé est distribué graduellement au système tout entier. Ce processus (figure 3) est gouverné par la température et l'apport d'oxygène et n'a lieu que si la concentration d'oxygène dépasse 3% en volume; il s'effectue le plus rapidement à l'air si la solution externe ne contient pas de phosphate.

Les expériences sur la vitesse d'absorption des sels ont souligné le caractère aérobie de l'absorption initiale et de la redistribution. On a vu que

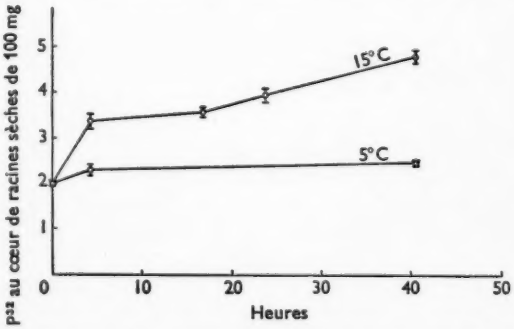


FIGURE 3 – *Mouvement du phosphate de la gaine mycélienne au tissu de l'hôte par des mycorhizes de hêtre maintenues dans des solutions dépourvues de phosphate à 5° et 15° C.*

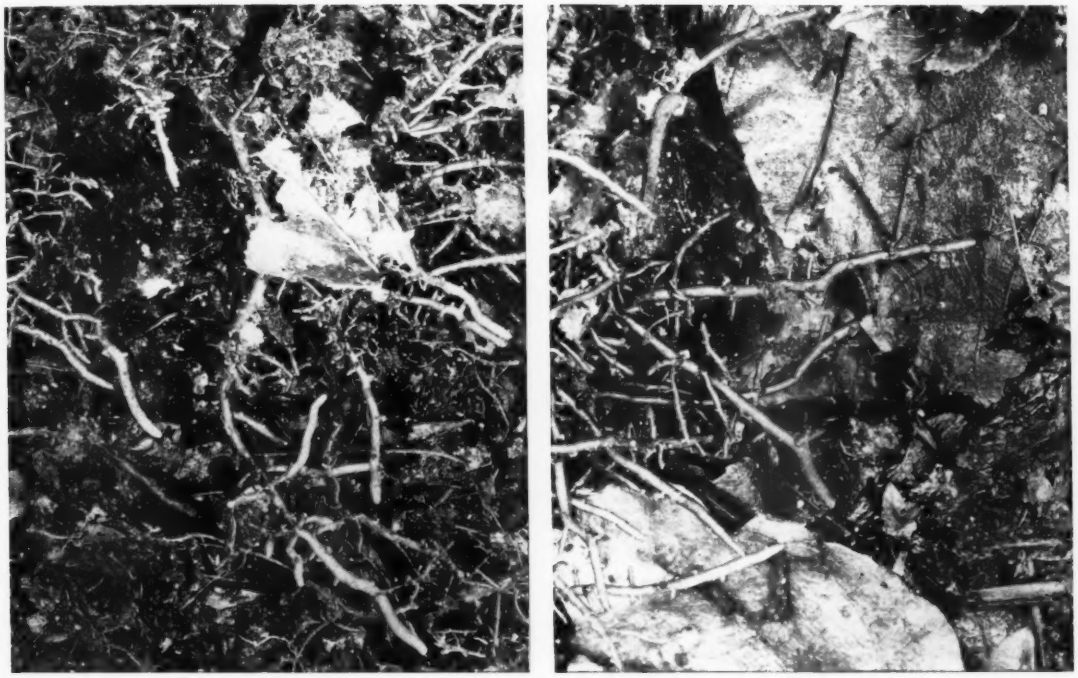


FIGURE 4 – *Photographies de mycorhizes de hêtre dans la couche de terreau du sol (modérément agrandies).*

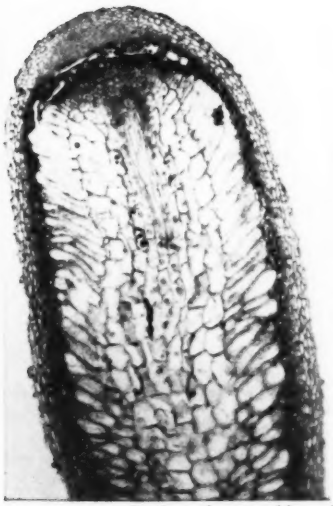


FIGURE 5 – *Sections de mycorhizes de hêtre montrant la gaine mycélienne renfermant le tissu de l'hôte. On voit les hyphes du réseau de Hartig entre les cellules du cortex.* (× 130 *appr.*) (*Photographie de F. A. L. Clowes*)

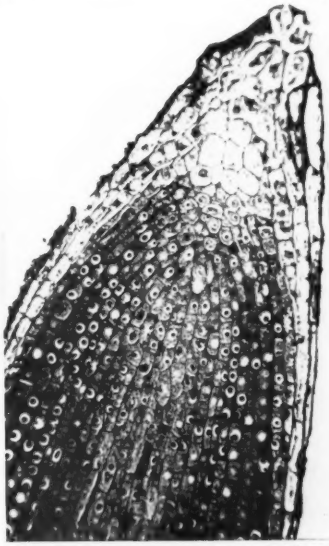


FIGURE 6 – *Section longitudinale d'une racine de hêtre non infestée, à titre de comparaison.* (× 200 *appr.*) (*Photographie de F. A. L. Clowes*)

le milieu naturel le plus favorable pour le développement des mycorhizes est la partie supérieure du terreau qui recouvre le sol des forêts: pour que les résultats des expériences puissent être appliqués à bon escient dans la nature il faut donc connaître la teneur d'oxygène de ces couches. Des évaluations de l'atmosphère du sol [2] dans des zones de développement intense de mycorhizes de hêtre, montrent que l'oxygène n'y fait pas défaut. Dans tous les cas examinés au cours d'une saison entière la concentration d'oxygène est demeurée au-dessus de 19% en volume. On acceptera donc la conclusion que les mycorhizes sont des accumulateurs d'ions aérobies très efficaces, capables, lors de la décomposition du terreau, de rivaliser brillamment pour leur nourriture végétale avec d'autres organismes de l'humus de forêt. Les réserves ainsi accumulées sont mises à la disposition de l'hôte et du champignon par un processus graduel de redistribution réglé par le métabolisme.

Ces travaux récents ont fourni une explication satisfaisante de bien des observations sur la survivance remarquable des mycorhizes en terrain pauvre tant dans la nature que dans les conditions d'expérience, et l'on a enfin fait sortir l'étude des mycorhizes d'une phase où l'on semblait leur attribuer des propriétés magiques. Il est aussi absurde de supposer que la croissance de mycorhizes avec formation d'une gaine sur les racines n'a pas d'effet sur l'absorption, que d'affirmer que les plants des arbres de forêt ne peuvent pousser sans mycorhizes. Les semences d'arbres de forêt, plantées dans du sable mouillé, germent et donnent des plants sans mycorhizes. Il est vrai que des plants poussant en terrain fortement enrichi par des engrais peuvent atteindre une stature vigoureuse sans être infestés sérieusement, mais ce n'est là ni leur habitat normal, ni leur condition ordinaire dans leur environnement naturel. Sous le patronage de la Commission forestière, on a entrepris des expériences pour déterminer s'il est nécessaire de cultiver les plants des pépinières avec des mycorhizes avant de les transplanter dans les forêts, ou si les plants forcés avec de fortes doses d'engrais inorganiques depuis le début, mais sans mycorhizes, auront un développement satisfaisant après la transplantation. Les réponses à ce genre de question faciliteront certainement l'établissement des plans pour la culture en pépinière; elles ont d'ailleurs déjà prouvé leur valeur en élaguant les affirmations exagérées sur le rôle joué par les mycorhizes dans la culture. Les expériences écologiques et physiologiques décrites dans cet article n'ont toutefois pas les problèmes économiques comme objectif principal mais bien le fonctionnement des mycorhizes en tant qu'organes absorbeurs dans leur environnement naturel de la forêt.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BJÖRKMAN, E. *Symb. bot. upsaliens.*, **6**, 2, 1942.
[2] BRIERLEY, J. K. *J. Ecol.*, **43**, 404, 1955.
[3] FRANK, A. B. *Ber. dtsch. bot. Ges.*, **3**, 128, 1885.
[4] HARLEY, J. L. et MCCREADY, C. C. *New Phytol.*, **49**, 388, 1950; **51**, 56, 342, 1952; **53**, 92, 240, 1954.
[5] HATCH, A. B. *Black Rock For. Bull.*, N° 6, 1937.
[6] KRAMER, P. J. et WILBUR, K. M. *Science*, **110**, 8, 1949.
[7] MELIN, E. *Handb. biol. ArbMeth.*, **11**, 4, 1936.
[8] MELIN, E. et NILSSON, W. *Physiol. Plant.*, **3**, 88, 1950.
[9] *Idem. Nature, Lond.*, **171**, 134, 1953.
[10] *Idem. Svensk bot. Tidskr.*, **49**, 119, 1955.
[11] MODESS, O. *Symb. bot. upsaliens.*, **5**, 1, 1941.
[12] RAYNER, H. E. et NEILSON-JONES, W. «Problems of Tree Nutrition». Faber and Faber, Londres. 1944.

Revue des livres

ASTRONOMIE

PAWSEY, J. W. et BRACEWELL, R. N.: *Radio Astronomy*. Pp. x + 359. Clarendon Press, Oxford, 1955. 55s.

Les radio-techniques ont ouvert un champ inconnu en astronomie depuis la fin de la guerre. Le Laboratoire de Radiophysique à Sydney a joué un rôle important dans ce développement nouveau et deux de ses membres distingués font ici un exposé de valeur du sujet. La radio-astronomie est issue à la fois de l'astronomie, de la physique et de la radio et toute revue bien faite de la question devra couvrir un grand nombre de points divers. Les auteurs ont pleinement réussi à rendre l'œuvre intelligible pour tous ceux qu'elle intéressera. Il était inévitable que les questions leur étant les plus familières soient traitées plus à fond, comme celle des émissions d'ondes solaires qui occupe un tiers de l'ouvrage. On regrette malgré tout que les émissions galactiques et extra-galactiques soient confinées à un seul chapitre. Les découvertes récentes sur cet aspect de la radio-astronomie, en particulier la ligne spectrale de l'hydrogène interstellaire neutre, sont si importantes qu'elles auraient pu être étudiées plus longuement. Les ondes thermiques de la Lune sont traitées en un court chapitre et la question des radio-échos en radio-astronomie est exposée très clairement dans les chapitres sur les échos lunaires et les météores. Le livre sera indispensable à tous ceux qui s'occupent de la question, étudiants et chercheurs. Les progrès remarquables de ces dernières années et les vastes possibilités de l'avenir ne manqueront pas de les enthousiasmer. A. C. B. LOVELL

SIDGWICK, J. B.: *Amateur Astronomer's Handbook*. Pp. 580. Faber and Faber Limited, Londres. 1955. 63s.

Les nombreux astronomes amateurs qui possèdent et emploient leur propre télescope trouveront ici une foule de renseignements sur une grande diversité de sujets. Le livre n'est pas destiné à être un manuel ou un recueil pratique d'instructions. C'est un ouvrage de référence qui aidera l'observateur à tirer le meilleur parti de son télescope et à en conserver la mise au point. Les questions traitées comprennent: la capacité lumineuse, le pouvoir séparateur, le grossissement, la grandeur de champ et les aberrations des télescopes, les divers types d'oculaires et d'objectifs, les matériaux optiques et leurs propriétés, les revêtements d'argent, d'aluminium et d'autres substances sur les surfaces réfléchissantes, les types de télescopes, de montages et d'actionnements, les mises au point et les essais, l'atmosphère et les conditions de vision, les micromètres, spectroscopes et photomètres, l'œil et son rôle dans l'observation, l'emploi de la photographie et les propriétés de la plaque photographique; enfin, les diaphragmes, filtres et horloges.

Le livre renferme beaucoup de renseignements pratiques et le grand nombre de diagrammes linéaires remarquablement clairs ajoute à sa valeur. Une bibliographie de quelque 600 ouvrages éclairera le lecteur voulant faire des recherches plus poussées sur la plupart des points traités. Le volume, unique en son genre, sera indispensable à l'astronome observateur. L'impression et le papier sont de haute qualité. H. SPENCER JONES

SIDGWICK, J. B.: *Observational Astronomy for Amateurs*. Pp. 358. Faber and Faber Limited, Londres. 1955. 50s.

Destiné à l'amateur astronome possédant un petit télescope et voulant l'utiliser pour des observations systématiques, ce livre répond à un besoin pressant. Il décrit les méthodes et techniques d'observation et ajoute de nombreux détails et conseils pratiques sur tous les champs que l'amateur sera amené à explorer: le Soleil, la Lune, les planètes, les astéroïdes, les comètes, les météores, les aurores boréales, la lumière zodiacale et les étoiles variables. Les renseignements donnés dans le *Nautical Almanac* et le manuel de la *British Astronomical Association* sont expliqués et on trouve en fin de chaque chapitre la liste des principales données numériques. Les méthodes d'enregistrement des observations sont aussi décrites. Muni de ce guide, le débutant évitera de nombreux faux pas et acquerra bientôt la confiance et l'expérience nécessaires pour faire un apport de valeur au sujet qu'il aura choisi. Une bibliographie très complète à la fin de l'ouvrage suit l'ordre du livre et permettra à l'astronome-amateur d'étendre sa documentation.

L'astronomie continuera à dépendre en grande partie des travaux d'amateurs sur certains points. Ceux-ci feront bien d'étudier un manuel qui ne manquera pas d'accroître la valeur de leurs observations. H. SPENCER JONES

BIOLOGIE

COLE, W. H., publié par: *Some Physiological Aspects and Consequences of Parasitism*. Pp. xi + 90. Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey. 1955. $2.

Le Bureau de recherches biologiques de l'Université Rutgers organise depuis 1945 une conférence annuelle sur un aspect du métabolisme des protéines. La conférence de 1955 s'occupa d'un fait important: l'équilibre métabolique de l'hôte peut être altéré par les organismes parasitiques ne produisant pas forcément de maladies à symptômes cliniques, à tel point que des animaux d'expérimentation considérés normaux ne réagissent pas, en fait, normalement. Le problème est complexe, mais, comme le montre le rapport de la conférence, des contributions de valeur ont été déjà faites à son étude et à celle de la physiologie des rapports hôte-parasite en général.

Les travaux sur les parasites intracellulaires sont représentés par l'article de W. Trager sur l'étude *in vitro* des parasites paludéens des oiseaux, par celui de L. A. Stauber sur la leishmaniase du hamster et par l'étude de J. W. Moulder du métabolisme protéique chez les bactériophages, les rickettsies du typhus et les parasites paludéens. Le Professeur W. H. Taliaferro discute ses récents travaux sur la formation d'hémolysines anti-moutons chez le lapin, E. Bueding les enzymes glycolytiques de *Schistosoma mansoni* et C. P. Read la physiologie intestinale et ses rapports avec le métabolisme des cestodes.

Tous ces articles révèlent que nous sommes à la veille de découvertes qui transformeront éventuellement nos méthodes de lutte contre les parasites car, en dépit de progrès récents remarquables, ils causent encore de lourdes pertes économiques dans le monde entier et d'incalculables souffrances à l'homme et aux animaux. G. LAPAGE

HADORN, E.: *Letalfaktoren*. Pp. 338. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1955. DM. 39.

Cette monographie du Professeur Hadorn est le premier ouvrage entièrement consacré aux facteurs létifères — c'est-à-dire aux gènes causant la mort

de l'individu chez lequel ils se manifestent. C'est une œuvre importante, non parce que ces gènes diffèrent profondément des autres, mais parce qu'ils offrent une occasion unique d'aborder techniquement deux des problèmes fondamentaux de la génétique: la nature des mutations de gènes et la façon dont les facteurs génétiques produisent leurs conséquences. Ces deux questions sont traitées assez en détail, mais la seconde occupe la plus grande partie du livre.

Le mérite spécial du livre est son analyse théorique minutieuse, illustrée par la citation de nombreuses études expérimentales et descriptives, des syndromes complexes d'anomalies résultant d'un gène unique. Hadorn discute en détail les preuves de l'existence de phases particulières de développement auxquelles l'action d'un gène donné devient manifeste et la spécificité des cellules et des organes dans l'activité des gènes. Il résume et étudie à fond la signification de ses propres récents travaux employant des méthodes chromatographiques pour mettre au jour les changements biochimiques causés par certains gènes létifères. Le livre ne sera pas seulement un précis et une source d'information des plus utiles, mais par sa clarté et l'ampleur de sa partie théorique, fera une contribution importante aux progrès de la génétique du développement.

C. H. WADDINGTON

BOTANIQUE

GUILLAUMIN, A., MOREAU, F. et C.: *La Vie des Plantes*. Pp. 468. Librairie Larousse, Paris. 1955. 6190 fr.

Cette dernière addition à la «Collection in-quarto Larousse» est destinée à faire pendant à «La Vie des Animaux» déjà parue. Le but de la série, dont c'est le neuvième volume, est d'ouvrir devant le lecteur le monde des idées, lui fournir une documentation irréprochable sur l'ensemble des connaissances modernes, des illustrations capables de charmer l'œil et d'éclairer l'esprit et une présentation en général utilisant toutes les ressources de l'art graphique contemporain.

Avec un projet si ambitieux, l'échec ne pourrait qu'être honorable; et les trois auteurs ont en effet abordé leur sujet en style. On trouverait difficilement un aspect de la botanique qu'ils n'aient pas mentionné, depuis la morphologie classique jusqu'à la taille ornementale ou de la culture des champignons dans les cavernes à celle du millet sous l'équateur.

Les illustrations sont véritablement magnifiques, surtout celles en noir et blanc qui enthousiasmeront même le botaniste endurci. C'est là le cadeau idéal à offrir à l'amateur de plantes. Les 1518 illustrations procureront des heures de plaisir à celui qui n'aura pas les minces connaissances de français demandées par le texte. Il n'y a malheureusement pas d'index.

W. O. JAMES

HILL, R. et WHITTINGHAM, C. P.: *Photosynthesis*. Pp. VII + 165. Methuen and Company Limited, Londres. 1955. 8s. 6d.

Le développement de la photosynthèse est passé par plusieurs phases, basées respectivement sur l'anatomie et la physiologie végétales, la chimie physique et la biochimie. Ce petit livre a le grand mérite, dans ses limites étroites, de représenter assez bien cette évolution. On a plaisir à trouver, par exemple, un exposé suffisant de ce qu'on peut appeler maintenant les études cinétiques classiques des botanistes physiologistes, qui fournirent des connaissances de base qu'on a tendance à oublier de nos jours.

Le texte est clair dans l'ensemble et ne dépasse pas le niveau de l'étudiant moyen de botanique ou de biochimie: quelques négligences et ambiguïtés se font remarquer par contraste. Les diverses sections sont assez inégales, ce qui était à prévoir avec deux auteurs, et le manque de place explique sans doute certaines opinions catégoriques discutables. Une grande partie de la biochimie générale exposée au chapitre 6 n'est pas nouvelle et on préférerait trouver à la place la description de quelques faits à l'appui, comme au chapitre 7, unique en son genre.

Le compte rendu des travaux récents est aussi à jour que possible, considérant les retards de la publication moderne et le développement rapide du sujet. Félicitons sincèrement les auteurs de leur réussite remarquable: les étudiants de botanique et de biochimie leur seront immensément redevables.

W. O. JAMES

MERRILL, E. D.: *The Botany of Cook's Voyages*, Vol. XIV, Nos. 5–6. Pp. IV + 161–384. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass. 1954. $4,75.

Le titre du livre est assez mal choisi car il traite, non pas de la végétation naturelle des contrées visitées au cours des voyages de Cook, mais des plantes cultivées et des mauvaises herbes qui y furent apportées artificiellement.

La documentation réunie par Banks et Solander sur le premier voyage de Cook (1768–71) et par les deux Forster sur le second fournissent la preuve essentielle de la théorie du Dr. Merrill. Ces collections étaient, paraît-il, complètes et montrent que la plupart des plantes introduites dans les îles du Pacifique le furent après 1769. On pense que les Espagnols et les Portugais furent les pionniers de la répartition des herbes dans ces pays et durant les deux cent cinquante ans d'existence de la «Ligne des Galions» du Mexique aux Philippines, ils introduisirent probablement quelque deux cents espèces. L'idée que les plantes cultivées et herbes d'Amérique étaient largement dispersées avant Magellan est inexacte. Il est probable que pas plus de deux ou trois herbes d'origine américaine prirent racine dans les îles du Pacifique avant 1750.

En 1769 on ramassa à Tahiti deux cent soixante espèces végétales, dont soixante-trois avaient sans doute été apportées par l'homme. Trente d'entre elles ont une valeur économique et furent très probablement introduites pour cette raison; les herbes étaient en nombre équivalent, mais d'origine indo-malaise.

Le texte aurait gagné en portée et en intérêt à être moins polémique. Les conclusions sont basées sur des recherches considérables et il y a un index de noms de plantes et d'auteurs, mais pas des questions traitées, ce qui est regrettable.

E. J. SALISBURY

CHIMIE

DAUMAS, M.: *Lavoisier Théoricien et Expérimentateur*. Pp. 180. Presses Universitaires de France, Paris. 1955. 700 fr.

Le Dr. M. Daumas, du Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris, est déjà bien connu pour sa remarquable étude: «Les Instruments Scientifiques aux XVIIe et XVIIIe Siècles», qui devint un classique dès sa parution en 1953. Son livre précédent: «Lavoisier», œuvre de vulgarisation, avait été très remarqué et fut réédité plusieurs fois. Ce nouvel ouvrage s'occupe à nouveau de Lavoisier. C'est une étude magistrale, bien informée et documentée de l'œuvre du fondateur de la chimie moderne, le replaçant avec

netteté et en 180 pages seulement dans son cadre d'idées, de méthodes et d'appareils du dix-huitième siècle. Aucun chimiste ne manquera d'être captivé par cette reconstitution historique des origines de son sujet, d'autant plus que l'auteur ignore toute question de priorité et, beaucoup plus utilement, consacre tout un chapitre à la chronologie des recherches et des travaux de Lavoisier. Autre aspect très intéressant du livre: le compte rendu des longs et minutieux travaux du Dr. Daumas lui-même sur la composition du classique de Lavoisier, le «Traité élémentaire de Chimie».

D. McKIE

LAIDLER, K. J.: *The Chemical Kinetics of Excited States*. Pp. 180. Clarendon Press, Oxford. 1955. 30s.

Bien que seules les configurations électroniques les plus stables des espèces participantes entrent en jeu dans la majorité des réactions chimiques, les états d'excitation jouent un rôle essentiel dans de nombreux phénomènes de grand intérêt pratique et théorique se produisant dans certaines transformations radiochimiques, photochimiques et dans les flammes. Le livre vaut la peine d'être recommandé aux lecteurs doués de connaissances générales de chimie physique, car il fait une excellente étude des concepts fondamentaux d'une branche spécialisée de la cinétique.

Une brève introduction sur les radiations et les particules à forte énergie précède l'étude des deux problèmes théoriques principaux: 1° la corrélation entre les divers états d'excitation du complexe de transition et les niveaux correspondants des réactants et produits résultants, et 2° la probabilité de transitions d'une surface à une autre. Les chapitres qui font suite traitent des diverses méthodes d'excitation et des réactions élémentaires des molécules excitées, telles que la dissociation, l'isomérisation, l'association et le transfert d'énergie. Pour illustrer les applications de ces principes, l'auteur compare le mécanisme thermique, photochimique et radiochimique de quelques exemples classiques de cinétique chimique, comme la conversion de l'ortho- en para-hydrogène, la décomposition de l'iodure d'hydrogène et la combinaison de l'hydrogène et du brome. Un chapitre sur l'aspect spectroscopique des flammes termine le livre.

K. W. SYKES

LUBS, H. A., publié par: *The Chemistry of Synthetic Dyes and Pigments*. Pp. XII + 734. Reinhold Publishing Corporation, New York. 1955. £7 8s.

Le nombre d'ouvrages d'autorité sur la chimie et la manufacture des teintures et des pigments est négligeable. Une œuvre nouvelle de la portée et de l'ampleur de celle-ci sera donc bien accueillie. Publiée par l'*American Chemical Society* dans sa série bien connue de monographies, le texte et la présentation sont du niveau excellent habituel. Il est impossible à un seul auteur d'écrire d'expérience personnelle sur l'ensemble des teintures industrielles, aussi 19 chimistes, tous, y compris le rédacteur, employés au laboratoire Jackson de la Compagnie Du Pont, ont collaboré ici. Le sujet est abordé d'un angle purement chimique et, à la façon des chercheurs professionnels, les auteurs étudient les phénomènes liés à la préparation des produits intermédiaires et à leur conversion en teintures, et les propriétés de ces dernières par rapport aux fonctions attendues d'elles.

Toutes les catégories de teintures et de pigments organiques sont traitées dans les 14 chapitres du livre, mais la place allouée à chacune reflète l'importance de sa production en termes de dollars. Les colorants azoïques et les teintures dérivées de l'anthraquinone, colorants pour cuve apparentés compris, sont les plus longuement traités; les colorants indigoïdes reçoivent 26 pages, les colorants au soufre, 33 et une très vaste catégorie mixte comprenant l'acridine, l'azine, la thiazine et les importantes teintures au triarylméthane se contentent de 70 pages. Les sujets favoris de chaque auteur sont toutefois admirablement traités. On note la documentation importante recueillie de sources allemandes après la dernière guerre et figurant dans les rapports FIAT et BIOS, documentation mal étayée et d'accès difficile. Citons aussi l'exposé excellent des pigments et colorants à la phthalocyanine. Le livre rend pleinement hommage aux chimistes britanniques pour cette découverte, qui est certainement la plus brillante dans le domaine des colorants synthétiques depuis 25 ans.

E. H. RODD

PAULING, Linus: *College Chemistry* (2e édition). Pp. XII + 685. W. H. Freeman and Company, California; Bailey Bros and Swinfen Limited, Londres. 1955. 51s.

Cette seconde édition du livre diffère de la première par divers changements dans l'ordre des chapitres et par l'addition d'une section entièrement nouvelle sur l'électron et les noyaux atomiques. Quelques exercices explicatifs supplémentaires ont été ajoutés au texte et ceux qui terminent les chapitres ont été considérablement modifiés, les plus difficiles étant supprimés. L'auteur insiste davantage sur la partie organique et il y a un chapitre sur la biochimie. En somme, la révision a été faite non seulement pour mettre l'ouvrage à jour mais pour présenter les faits, concepts et théories chimiques plus progressivement et systématiquement que dans la première édition.

L'ouvrage fait une excellente introduction au sujet pour les étudiants de première année et constitue un texte supplémentaire des plus utiles pour les étudiants plus avancés se spécialisant en sciences. On a l'impression que l'étudiant se sentira guidé par une main de maître et que ses progrès en seront accélérés. Outre les exercices soigneusement choisis, on trouve à la fin de chaque chapitre deux ou trois paragraphes résumant les idées et les termes nouveaux qu'on y trouve, excellent moyen de permettre au lecteur de se rendre compte de ses progrès. Il y a des suppléments sur le système métrique, les constantes physiques et chimiques, la tension de la vapeur d'eau, ainsi qu'un index complet. Le livre est abondamment illustré de diagrammes très clairs. Comme il arrive pour tant de livres américains, le prix semble élevé mais, dans ce cas, l'acheteur en aura pour son argent.

E. J. HOLMYARD

SEEL, F.: *Grundlagen der analytischen Chemie und der Chemie in wässrigen Systemen*. Pp. 348. Verlag Chemie G.m.b.H., Weinheim/Bergstr. 1955. DM. 29.

Après la déduction de la loi d'action de masse à l'échelle des concentrations par la mise en équation des réactions directes et inverses, basée sur les fréquences de collisions, l'auteur présente les activités à ion unique afin d'obtenir des constantes de la loi de masse «vraiment constantes». Ayant évité ainsi les complexités de la thermodynamique, l'auteur fait une étude compétente des phénomènes de solution et de précipitation sans oublier les implications variées résultant de la taille des cristaux et de la formation de colloïdes. Egalement bien faits sont les chapitres substantiels sur la formation de complexes, les réactions acide-base et les indicateurs. Un court chapitre (trop court

vu son importance croissante dans le domaine de l'analyse) est consacré à la question de l'échange d'ions.

Une part importante de l'ouvrage analyse les phénomènes d'oxydation et de réduction, réversibles et non, et l'effet sur eux de la formation de complexes. Les divers types de titration *p*H utilisant les indicateurs, les potentiels redox et les cellules potentiométriques sont assez longuement étudiés. Des tables développées donnent en appendice les valeurs *p*K de solubilités et stabilités de complexes ainsi que les potentiels redox normaux d'un grand nombre de composés. E. GLUECKAUF

SPEAKMAN, J. C.: *An Introduction to the Electronic Theory of Valency* (3e édition). Pp. VII + 180. Edward Arnold (Publishers) Limited, Londres. 1955. 10s. 6d.

Cette nouvelle version de l'étude lucide du Dr. Speakman sur la théorie de la valence sera bien accueillie par ceux qui connaissent ses éditions antérieures, car elle a été mise à jour et divisée en deux.

La partie I expose, au niveau de fin d'études secondaires ou *intermediate*, les règles justement appelées d'après Sidgwick pour l'établissement de simples formules électroniques. Le texte est admirablement adapté à son but et ne nécessite aucune critique sauf lorsqu'il donne l'impression, par exemple, que l'oxyde de carbone est fortement polaire ou attribue des valeurs fictives à l'affinité électronique de l'oxygène et au potentiel d'électrode du magnésium.

La partie II, destinée à l'étudiant de première année, lui fera faire connaissance avec la plupart des grandes idées devenues courantes. Un nouveau chapitre, excellent dans les limites de la description par l'image, étudie la mécanique ondulatoire sans omettre la liaison par valence et les méthodes orbitales moléculaires. On trouve ensuite les points suivants: longueurs et énergies de liaison, électronégativité, forces de van der Waals, liaison d'hydrogène, éléments de transition, acides et bases avec le concept de Lewis, et composés non-stœchiométriques déficients en électrons et clathratés.

La combinaison peu commune de textes de deux niveaux différents sera la bienvenue auprès de l'élève aventureux de fin d'études secondaires. Souhaitons cependant que l'étudiant rencontrera ailleurs un traitement plus rigoureux de certaines portions de cet immense sujet.

K. W. SYKES

MATHÉMATIQUES

BARTLETT, M. S.: *An Introduction to Stochastic Processes*. Pp. XIV + 312. Cambridge University Press, Londres. 1955. 35s.

Toutes les fois qu'on peut se représenter utilement un système physique ou biologique comme se développant dans le temps selon les lois de la probabilité, son modèle mathématique approprié est un processus stochastique. L'état du système à l'époque *t* sera alors représenté par une variable aléatoire dépendant de *t* comme paramètre; les systèmes de telles variables ayant un ou plusieurs paramètres non-identifiés avec le temps sont aussi appelés processus stochastiques et sont parfois importants (comme dans la théorie de la turbulence), mais le paramètre (-temps) unique se retrouve dans la plupart des applications. La théorie des processus stochastiques s'est développée avec une rapidité étonnante ces dix dernières années, des apports remarquables ayant été faits à sa méthodologie par le Professeur Bartlett et son école, à Cambridge tout d'abord puis à Manchester. Ce livre original arrive à un moment des plus opportuns et s'adresse très nettement au lecteur «pratique» voulant des idées à développer plutôt que des théorèmes à citer (les théorèmes viendront plus tard, dans un volume jumeau de J. E. Moyal). L'ouvrage aidera beaucoup à entrevoir les phénomènes de leur propre domaine spécialisé sous un jour nouveau et révélateur. A d'autres, et surtout ceux qui ont un intérêt professionnel pour l'aspect mathématique du mouvement brownien, les systèmes «voisin-le-plus-proche», les queues, l'accroissement de la population et sa génétique ainsi que les épidémies et la théorie de la communication, l'idée d'un processus stochastique ne sera pas nouvelle, mais le point de vue de l'auteur sera digne d'attention.

Particulièrement importants sont les derniers chapitres où le Professeur Bartlett traite des problèmes ardus d'évaluation des paramètres de structure dans un modèle stochastique et d'essai de «pointure». Les procédés habituels de statistique ne sont pas applicables ici tels quels et toute une série nouvelle de problèmes se présentent à propos d'inférence statistique.

D. G. KENDALL

COLERUS, E.: *From Simple Numbers to the Calculus*. Pp. XI + 255. William Heinemann Limited, Londres. 1955. 12s. 6d.

Ce livre est une traduction de l'allemand mais se lit avec une aisance surprenante. Il constitue, en effet, une introduction remarquable à l'algèbre, à la trigonométrie et au calcul infinitésimal élémentaires. Le style est extrêmement agréable et montre clairement le soin apporté par l'auteur à la présentation de son sujet au profane. Il a prévu et résolu presque toutes les difficultés. L'exposé est agrémenté de diversions historiques et illustré de nombreux exemples. Le grand mérite du livre est de montrer la transition du cas particulier au général en mathématiques, permettant ainsi au non-spécialiste de se faire une idée des principes et des méthodes de cette science. G. TEMPLE

PHILOSOPHIE

COULSON, C. A.: *Science and Religion: A Changing Relationship*. (Conférence Rede de 1954.) Pp. 36. Cambridge University Press, Londres. 1955. 2s. 6d.

Le but du Professeur Coulson dans cette conférence est de retracer l'évolution des rapports entre la science et la religion résultant du progrès scientifique. Il étudie deux aspects de ce changement qu'il attribue à la nature et à l'homme, mais fait remarquer qu'ils chevauchent considérablement.

Il rejette définitivement la tendance moderne qui consiste à diviser la nature en deux parties où la science et la religion ont leurs domaines respectifs et n'accepte pas davantage qu'on trouve Dieu dans les régions de la pensée où la science n'a pas encore pénétré. Ou bien Dieu est dans la nature entière, ou il n'y est pas du tout; de même, l'ensemble de la nature est ouvert à l'investigation scientifique. La vieille objectivité de la nature devient donc indéfendable. Il faut reconnaître que «notre intellect ne tire pas ses lois de la nature, mais les lui impose». A ce titre, le savant ne diffère pas de l'artiste, du poète et du saint; d'autre part, dans les découvertes récentes il en est séparé de plus en plus par l'abîme qui se creuse entre l'expérience courante et les conceptions scientifiques fondamentales.

Se tournant vers l'homme, le Professeur Coulson attire l'attention sur sa perte de position centrale dans l'univers, son insignifiance en termes métriques et sur le fait que la nature dont il fait partie n'a plus de centre qu'il puisse occuper — ou, si l'on veut, est faite de centres. On peut considérer un tel univers «comme renfermant Dieu en quelque sorte», à la façon d'un tableau «et Dieu est, pour ainsi dire, la toile

dont dépend le tableau». Mais l'homme, tout en étant inséparablement lié à cet univers habité par Dieu, en est d'une autre façon l'auteur car «il y a un sens spécial où la nature ellemême est une construction de l'homme».

Cette relation compliquée est très différente de l'ancienne conception de l'homme à l'écart d'une nature entièrement objective, essayant de la décrire mathématiquement. Avec nos connaissances plus poussées, «il est impossible de rendre compte de la nature avec succès autrement que de façon personnelle».

Le texte, très stimulant, rencontrera l'approbation ou non selon les idées du lecteur. L'un des effets de l'évolution des rapports a été de diviser ceux qui accordent une importance égale à la science et à la religion sur la meilleure façon d'envisager la question dans son ensemble. Les opinions d'autrui semblent mal choisies plutôt qu'inacceptables. Dans ce cas, il vaut la peine de découvrir le point de vue faisant disparaître ce défaut. Le livre du Professeur Coulson se prête aisément à un tel effort. Ceux qui le feront en seront largement récompensés.

HERBERT DINGLE

PHYSIQUE

ROLLER, D. et ROLLER, D. H. D.: *The Development of the Concept of Electric Charge*. Pp. IV + 97. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1954. $1,60.

Ce petit livre retrace l'histoire des travaux sur la charge électrique depuis les premières constatations sur l'électricité de friction jusqu'aux expériences de Coulomb, dont la belle série de mesures avec la balance de torsion (inventée par Michell et non par lui) établit la fameuse loi et précisa ainsi la notion de charge électrique.

Cette étude d'un sujet relativement peu traité témoigne d'un examen minutieux et bienveillant des documents en question et la reproduction de longs passages et de diagrammes tirés des ouvrages et des mémoires originaux est une excellente idée. On s'étonne de voir Hauksbee, dont les travaux reçoivent une place méritée, être qualifié de «presque illettré» car les extraits ne confirment pas cette accusation. On aimerait assez voir certains lettrés d'aujourd'hui décrire leurs expériences aussi simplement et clairement que lui dans ses *Physico-Mechanical Experiments*. Mais c'est là une critique de peu d'importance, comme dans un ou deux autres cas. Le seul défaut véritable de ce livre de valeur est l'omission fréquente de notes précises sur les passages cités et les expériences décrites, fait d'autant plus regrettable qu'il diminue son utilité pour l'étudiant de l'histoire de la physique, qui fera bien pourtant d'en conserver un exemplaire à portée de la main.

E. N. DA C. ANDRADE

THIRRING, W.: *Einführung in die Quantenelektrodynamik*. Pp. XII + 122. Franz Deuticke, Vienne. 1955. DM. 17,50.

Ce livre est le résultat d'une série de conférences d'électrodynamique quantique données il y a cinq ans. Espérons que d'autres spécialistes suivront l'exemple du Dr. Thirring et feront aussi paraître en librairie leurs notes de conférences.

Le titre pourra induire en erreur. Le lecteur devra connaître déjà la forme originale de la théorie du champ quantique. Il trouvera ici un résumé clair et élégant des progrès réalisés dans la forme et la conception du sujet ces dernières années. Mais l'auteur insiste surtout sur la forme et les applications, ce qui est peut-être un avantage pour celui qui, connaissant déjà le sujet, voudra rafraîchir rapidement ses connaissances sur certains points techniques.

L'ouvrage débute par une évaluation qualitative de l'ordre de grandeur des divers effets physiques que l'électrodynamique quantique est appelée à expliquer et continue par une section sur la théorie classique de l'électron. La théorie quantique des champs est alors fondée sur le principe d'action de Schwinger. L'influence réciproque du champ électromagnétique et électronique est poussée, à ce niveau élevé, jusqu'à l'étude des divergences et de la renormalisation. L'électrodynamique des particules scalaires n'est pas traitée et les notes bibliographiques sont peu nombreuses. On trouve en appendice une série utile de problèmes avec leurs solutions.

E. CORINALDESI

SOCIOLOGIE

WIENER, N.: *The Human Use of Human Beings* (édition revue). Pp. 199. Eyre and Spottiswoode (Publishers) Limited, Londres. 1954. 18s.

Le livre parut pour la première fois en 1950 et cette édition revue est plus ou moins classique. On définit maintenant la cybernétique comme la science des messages, de leur communication et du contrôle que cet échange permet d'effectuer. La Société n'étant, paraît-il, qu'une forme simple ou multiple d'échanges, la science des messages doit pouvoir expliquer tous les phénomènes sociaux. C'est l'avis du Professeur Wiener, mais l'intérêt de son livre ne réside pas tellement dans l'application de quelques principes courants et trop généralisés de cybernétique aux problèmes sociaux, mais plutôt dans ses propres réflexions librement et brillamment exprimées sur de nombreuses questions d'actualité. Citons seulement les processus mentaux par lesquels l'être humain apprend à reconnaître les choses et à agir, l'histoire du développement et de l'emploi du langage, les questions légales dans la société surtout en ce qui concerne le châtiment et les controverses à son sujet et le problème du secret en science. Wiener fait preuve d'une érudition remarquable et d'une sûreté d'expression non moins enviable. Que le lecteur critique soit d'accord ou non avec lui sur certains points ou sur l'ensemble de sa théorie, il lui sera loisible de conserver son sentiment quant à l'importance de la cybernétique comme science sociale.

F. C. BARTLETT

ZOOLOGIE

LEES, A. D.: *The Physiology of Diapause in Arthropods*. Pp. X + 151. Cambridge University Press, Londres. 1955. 12s. 6d.

Le phénomène de la diapause, ou arrêt de croissance, intéresse depuis longtemps les physiologistes et entomologistes économistes et cette réévaluation résumée des travaux sur le sujet par le Dr. A. D. Lees sera la bienvenue car elle vient à point. Cette question générale de biologie retient de plus en plus l'attention et plus de la moitié des 286 articles cités ont paru ces dix dernières années.

L'auteur fait remarquer que le terme diapause fait penser aux mécanismes physiologiques absents à l'état de repos et présente une documentation nouvelle importante sur le réglage métabolique et biochimique des insectes et mites vivant en veilleuse. Une grande partie du livre s'occupe de l'influence du milieu sur la diapause et les pages traitant de l'effet de la longueur du jour sur la tendance à l'engourdissement sont particulièrement intéressantes.

L'une des découvertes les plus remarquables dans cette étude est celle du rôle joué par les hormones et les divers

systèmes de glandes endocrines dans la diapause embryonnaire, larvaire-chrysalidienne et imaginale. La découverte récente de l'existence d'une hormone d'hibernation affectant la vitesse du développement embryonnaire, de même que les travaux poussés sur l'endocrinologie de la diapause des larves et chrysalides sont admirablement résumés. Les principes généraux à la base du phénomène de diapause sont encore mal connus et l'on ne peut tenir rigueur à l'auteur du manque de clarté de certaines idées. On ose à peine dans une monographie de niveau si élevé faire remarquer quelques erreurs secondaires telles l'appellation *canescens* au lieu de *cinerescens* donnée à une variété de *Lucasta migratoria*. N. WALOFF

LHOSTE, J.: *Les Rongeurs Domestiques Nuisibles*. Pp. 149. Dunod, Paris. 1955. 730 fr.

Dans cette récente addition à la série «Les Heures Scientifiques», le Dr. Lhoste fait une étude de premier ordre sur les rats, les souris et leur élimination. Il commence par la description des différences principales entre *Rattus norvegicus*, *R. rattus* et *Mus musculus*, leurs parasites et les maladies dont ils sont porteurs. Vient ensuite une courte section sur la protection contre les rongeurs et l'enlèvement des ordures, suivie de quatre-vingts pages environ sur les méthodes de destruction — surtout chimiques — qui formeront la partie la plus intéressante du livre pour ceux qui sont déjà familiers avec ce genre de problèmes.

S'il est permis de critiquer cette œuvre remarquable en général, disons seulement que pour un Britannique, elle semble par endroits disproportionnée. On trouve, par exemple, neuf pages sur l'enlèvement des ordures en France, quatre sur la botanique d'*Urginea maritima* et l'extraction de la scille rouge et huit lignes seulement sur le trioxyde d'arsenic.

Pour citer des cas précis, notons qu'il faudra des recherches plus poussées avant de pouvoir recommander l'emploi d'émétiques dans les poisons à rats et qu'il est inexact que la warfarine soit d'ordinaire insipide. Le texte et les figures 42 et 43 correspondent mal; la confusion est atténuée, mais non entièrement supprimée, par la transposition de ces dernières. C'est ainsi qu'un fait important est relégué dans la légende de la figure 43, et tout à la fin du livre: l'emploi préalable d'appât est superflu avec les anticoagulants. Il y a une courte bibliographie mais pas d'index. E. W. BENTLEY

MATTHEWS, G. V. T.: *Bird Navigation*. Pp. VII + 141. Cambridge University Press, Londres. 1955. 12s. 6d.

Avant la guerre, le sens d'orientation des oiseaux sauvages grâce auquel ils retrouvent leur chemin en pays inconnu et regagnent leurs quartiers d'hiver dans leurs migrations annuelles, était encore un mystère inexpliqué. Le problème est maintenant presque entièrement résolu, surtout depuis les travaux de G. Kramer à Wilhelmshaven et de notre auteur à Cambridge. Kramer fit la constatation géniale qu'un sansonnet en cage avait tendance à voler dans une seule direction à l'époque normale de la migration et les expériences montrèrent qu'il tirait cette direction de la position du soleil et d'une sorte de pendule interne. Kramer et Matthews firent des expériences minutieusement préparées sur le retour des pigeons au colombier. Des résultats intéressants et même sensationnels furent obtenus par Matthews avec des puffins de l'île de Man, dont l'un rentra des Etats-Unis au Pays de Galles.

Le livre fait une revue méthodique et compétente des connaissances existantes. Il repose sur les recherches personnelles de l'auteur, mais se réfère constamment avec un sens critique judicieux aux travaux d'autres chercheurs. Matthews pense que les oiseaux se dirigent en tirant leur position de l'arc du soleil et expose sa théorie avec logique et sans prétentions.

Le mystère a suscité dans le passé une littérature si sensationnelle de la part du journaliste naturaliste que l'auteur emploie maintenant tout au long l'aride vocabulaire technique du laboratoire. C'est regrettable, car, racontée plus simplement, l'histoire aurait captivé beaucoup d'amateurs d'oiseaux. DAVID LACK

STARCK, D.: *Embryologie*. Pp. XIX + 688. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1955. DM. 78.

Le nouveau manuel d'embryologie du Professeur Dietrich Starck fait une contribution de valeur au sujet. Il est conçu sous la forme d'une introduction aux problèmes généraux d'embryologie, suivie d'un exposé développé du cas humain. Avec sa description de la placentation, de l'organogénie et de l'histogénèse, celui-ci est fait à la lumière de l'anatomie comparée et donne un compte rendu vivant du développement normal et tératologique. La première partie du livre est remarquable par l'ampleur des questions traitées. La documentation classique sur la formation des cellules de reproduction est accompagnée de pages admirables sur la fertilisation, les gamones, la manifestation des effets des gènes dans l'ontogénie, les chromosomes, la détermination du sexe et les problèmes fondamentaux de l'organisation de l'embryon par les organisateurs et de la différenciation qui en dépend. L'ouvrage, présenté et illustré magnifiquement, est parfaitement à jour et renferme une mine d'information introuvable ailleurs.

Une seule critique: certaines références citées dans le texte sont difficiles à retrouver dans la liste unifiée en fin du livre, mais cela n'empêchera pas l'œuvre de recevoir l'accueil qu'elle mérite. Le prix correspond naturellement à la valeur du contenu et dépasse les moyens de l'étudiant ordinaire. Aussi, les bibliothèques de toutes les institutions s'occupant de l'enseignement ou de la recherche embryologiques sur les vertébrés feront bien de se procurer ce livre. GAVIN DE BEER

Livres reçus

(*Note.* La mention d'un livre à ce page n'exclut pas sa revue ultérieure.)

ASTRONOMIE

ELLISON, M. A.: *The Sun and its Influence.* Pp. XII + 235. Routledge and Kegan Paul Limited, Londres. 1955. 21s.

BIOLOGIE

DOWDESWELL, W. H.: *The Mechanism of Evolution.* Pp. IX + 99. William Heinemann, Londres. 1955. 6s.

Fibrous Proteins and their Biological Significance (*Symposium of the Society for Experimental Biology*, No. 9). Pp. VI + 370. Cambridge University Press, Londres. 1955. 50s.

GRANIT, R.: *Receptors and Sensory Perception.* Pp. XI + 369. Yale University Press, Newhaven; Geoffrey Cumberlege, Oxford University Press, Londres. 1955. 40s.

JOHNSON, F. H., publié sous la direction de: *The Luminescence of Biological Systems.* Pp. XIV + 452. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C. 1955. $7.

LEES, H.: *Biochemistry of Autotrophic Bacteria.* Pp. VIII + 112. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1955. 21s.

THOMAS, J. A., publié sous la direction de: *Problèmes de structures, d'ultrastructures et de fonctions cellulaires.* Pp. 358. Masson et Cie, Paris. 1955. 3000 fr.

BOTANIQUE

BAILEY, I. W.: *Contributions to Plant Anatomy.* Pp. XXVI + 285. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass. 1955. $7,50.

KAPPERT, H. et RUDORF, W., publié sous la direction de: *Handbuch der Pflanzenzüchtung.* Vol. I. (2e édition). Pp. 80. Verlag Paul Parey, Berlin. 1955. DM. 13,50.

CHIMIE

BROOKS, B. T., BOORD, C. E., KURTZ, S. S., et SCHMERLING, L., publié sous la direction de: *The Chemistry of Petroleum Hydrocarbons.* Vol. II. Pp. VI + 448; Vol. III. Pp. VII + 690. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 108s. et 144s. respectivement.

DANIELS, F. et ALBERTY, R. A.: *Physical Chemistry.* Pp. VI + 671. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 52s.

GARRATT, D. C.: *The Quantitative Analysis of Drugs.* (2e édition). Pp. XV + 670. Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 70s.

GÉOPHYSIQUE. GÉOLOGIE

Proceedings of the Commonwealth Oceanographic Conference. 1954. Pp. V + 92. Cambridge University Press, Londres. 1955. 7s.

MÉDECINE

Advances in Experimental Caries Research. Pp. IX + 236. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C. 1955. $6,75.

British Pharmacopoeia 1953. *Addendum* 1955. Pp. XVII + 94. The Pharmaceutical Press, Londres. 1955. 21s.

The Extra Pharmacopoeia (*Martindale*). Vol. II (23e édition). Pp. XXXI + 1501. The Pharmaceutical Press, Londres. 1955. 57s. 6d.

PARKES, A. S., publié sous la direction de: *British Medical Bulletin*, Vol. XI, No. 2. (*Hormones in Reproduction*). Pp. 83–170. The British Council, Londres. 1955. 15s.

RHOADS, C. P., publié sous la direction de: *Antimetabolites and Cancer.* Pp. VI + 312. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C. 1955. $5,75.

Symposium on Atherosclerosis. Pp. 249. National Academy of Sciences—National Research Council, Washington, D.C. 1954. $2.

WOLSTENHOLME, G. E. W., publié sous la direction de: *Experimental Tuberculosis.* Pp. XII + 396. Ciba Foundation Symposium. J. and A. Churchill Limited, Londres. 1955. 42s.

PHYSIQUE

BLÜH, O. et ELDER, J. D.: *Principles and Applications of Physics.* Pp. XIV + 866. Oliver and Boyd Limited, Londres. 1955. 45s.

GRIVET, P., BERNARD, M.-Y. et SEPTIER, A. avec une préface de Louis DE BROGLIE: *Optique électronique.* Vol. I. *Lentilles électroniques.* Pp. 64. Bordas, Paris. 1955. 1450 fr.

GUGGENHEIM, E. A.: *Boltzmann's Distribution Law.* Pp. 61. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1955. 5s. 6d.

Journal of Electronics. Vol. I, No. 1. Pp. 102. Taylor and Francis Limited, Londres. 1955. 20s.

LIBBY, W. F.: *Radiocarbon Dating* (2e édition). Pp. IX + 175. The University of Chicago Press, Chicago; Cambridge University Press, Londres. 1955. 34s.

SHARPE, J.: *Nuclear Radiation Detectors.* Pp. 179. Methuen and Company Limited, Londres. 1955. 11s. 6d.

SMITH, K. F.: *Molecular Beams.* Pp. X + 133. John Wiley and Sons Inc., New York; Methuen and Company Limited, Londres. 1955. 8s. 6d.

SCIENCES GÉNÉRALES

DRUCKER, P. F.: *The Practice of Management.* Pp. VIII + 355. William Heinemann Limited, Londres. 1955. 25s.

KILLEFFER, D. H.: *Two Ears of Corn, Two Blades of Grass.* Pp. X + 139. D. Van Nostrand Company Inc., New York; Macmillan and Company Limited, Londres. 1955. 30s.

LOCKE, W. N. et BOOTH, A. D., publié sous la direction de: *Machine Translation of Languages.* Pp. XII + 243. The Technology Press of the Massachusetts Institute of Technology and John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 48s.

RYLE MASSON, D., publié sous la direction de: *Directory of Scientific Research Organizations in the Union of South Africa.* Pp. IX + 123. J. L. Van Schaik Limited, Pretoria. 1955. 25s.

THOMSON, Sir George: *The Foreseeable Future.* Pp. VII + 166. Cambridge University Press, Londres. 1955. 10s. 6d.

ZOOLOGIE

DHARMAKUMARSINHJI, R. S.: *Birds of Saurashtra, India.* Pp. LIII + 561. R. S. Dharmakumarsinhji, Dil Bahar, Bhavnagar, Saurashtra. 1955. 112s. 6d.

MARSHALL, S. M. et ORR, A. P.: *Biology of a Marine Copepod.* Pp. VII + 188. Oliver and Boyd Limited, Londres. 1955. 21s.

WILKINS, G. L.: *A Catalogue and Historical Account of the Banks Shell Collection.* Pp. 69–119. British Museum (Natural History), Londres. 1955. 20s.

Notes biographiques sur les collaborateurs

J. Z. YOUNG

Naquit en 1907 et étudia à l'Université d'Oxford. Se spécialisant en zoologie, il passa deux ans au Centre de Biologie Marine de Naples, puis rentra à Oxford où il devint démonstrateur en zoologie. Il est actuellement Professeur d'Anatomie à *University College*, à Londres. Ses recherches ont porté sur la constitution microscopique et le rôle des tissus du système nerveux en particulier. Boursier de la Fondation Rockefeller en 1936, il travailla à Chicago et à Woods Hole, Mass. Il s'occupe depuis 1939 des méthodes de traitement des lésions des nerfs périphériques. Il est membre du Comité des Lésions Nerveuses au *Medical Research Council*.

H. M. POWELL

Naquit en 1906 et étudia à *St. John's College*, Oxford. En 1929 fut nommé démonstrateur en minéralogie et cristallographie à Oxford où il inaugura l'application de la radiographie cristalline aux problèmes de la chimie. Il devint chargé de cours de cristallographie chimique en 1944. Ses travaux sur la structure des cristaux traitent des composés moléculaires, des divers types stéréochimiques et de la constitution des composés organométalliques, des pentahaloïdes du phosphore, des dérivés carbonylés métalliques et des ferrocyanures. Ses recherches les plus récentes portent sur les composés moléculaires stables formés par les gaz inertes.

H. J. J. WINTER

Naquit en 1912 et étudia à *University College*, Nottingham et à *University College*, Exeter. Est maître de conférences (Méthodes Scientifiques et Histoire de la Science) dans ce dernier établissement.

A. W. JOHNSON

Naquit en 1917 et étudia au *Royal College of Science* de South Kensington. Il prit un poste de recherche en 1942 dans la Section des Colorants de I.C.I. sur la chimie de l'acétylène et dérivés. Une bourse de I.C.I. en 1946 l'envoya à Cambridge. En 1948 il devint directeur-adjoint de recherche et, en 1953, maître de conférences de chimie organique. Il vient d'être nommé Professeur de Chimie Organique à l'Université de Nottingham.

SIR ALEXANDER TODD

Naquit à Glasgow en 1907 et fit ses études à l'Université de la ville, puis à celles de Francfort et d'Oxford. Fut nommé Professeur de Chimie et Chef des Laboratoires de Chimie à l'Université de Manchester en 1938. Est depuis 1944 Professeur de Chimie Organique à l'Université de Cambridge.

E. W. E. ROGERS

Naquit à Londres en 1925 et étudia à l'*Imperial College*. En 1945 il entra à la Division d'Aérodynamique du *National Physical Laboratory* où il fait depuis des travaux sur les courants d'air aux vitesses normales et supersoniques.

J. L. HARLEY

Naquit en 1911 et étudia à *Wadham College*, Oxford. Est actuellement démonstrateur de botanique à la même Université. Il a fait des recherches principalement de mycologie et d'écologie et a fait paraître des articles sur les mycorhizes, l'écologie des champignons et les colonies de micro-organismes à la surface des racines.